



---

**Élelmiszertudományi Kar**

**ÉLELMISZERTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA**

**FIZIKA – AUTOMATIKA TANSZÉK**

**KAKAÓVAJ-EGYENÉRTÉKŰ NÖVÉNYI ZSÍROK ÉS A TÁROLÁSI  
KÖRÜLMÉNYEK HATÁSA CSOKOLÁDÉ MODELLRENDSZEREK  
REOLÓGIAI ÉS ÉRZÉKSZERV JELLEMZŐIRE**

*Doktori (PhD) értekezés*

**Biczó-Kabai Veronika**

**Budapest**

**2011**

## **A doktori iskola**

**megnevezése:** Élelmiszertudományi Doktori Iskola

**tudományága:** Élelmiszertudományok

**vezetője:** Dr. Fodor Péter  
egyetemi tanár, DSc  
BUDAPESTI CORVINUS EGYETEM, Élelmiszertudományi Kar  
Alkalmazott Kémia Tanszék

**Témavezető:** Dr. Fekete András  
egyetemi tanár, DSc  
BUDAPESTI CORVINUS EGYETEM, Élelmiszertudományi Kar  
Fizika – Automatika Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, azért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

**A Budapesti Corvinus Egyetem Élettudományi Területi Doktori Tanács 2011. október 4-i határozatában a nyilvános vita lefolytatására az alábbi bíráló Bizottságot jelölte ki:**

**BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG:**

**Elnöke**

Vatai Gyula, DSc

**Tagjai**

Gyimes Ernő, PhD

Szalai Lajos, CSc

Véha Antal, CSc

Seres István, PhD

**Opponensek**

Mohos Ferenc, CSc

Biacs Péter Károly, PhD

**Titkár**

Zsomné Muha Viktória, PhD

*Kislányomnak, Grétinek*

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. BEVEZETÉS .....</b>	<b>7</b>
<b>2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....</b>	<b>9</b>
2.1 A kakaóbabtól a csokoládéig – kultúra és történet .....	9
2.2 Az édesipari készítmények táplálkozásélettani jelentősége .....	10
2.3 A kakaóbabtól a csokoládéig – gyártástechnológia.....	14
2.3.1 A kakaó elsődleges feldolgozása .....	16
2.3.2 A kakaómassza gyártása .....	16
2.3.3 A csokoládémassza előállítása .....	17
2.3.4 A csokoládétermék készítése.....	19
2.4 Kakaóvaj és alternatívák.....	24
2.4.1 A kakaóvaj .....	24
2.4.2 A kakaóvaj-alternatívák .....	26
2.5 Zsírkiválás, szürkülés (Fettreif, Fat Blooming).....	29
2.5.1 A zsírkiválás kialakulásának mechanizmusai .....	29
2.5.2 A zsírkiválás kialakulásának megelőzése .....	31
2.6 A csokoládé reológiája .....	32
2.6.1 A csokoládémassza folyási jellemzői.....	33
2.6.2 A szilárd csokoládé állományvizsgálata .....	43
2.7 A csokoládé érzékszervi jellemzői .....	47
2.8 A nagy hidrosztatikus nyomású technológia (HP) .....	49
2.9 A szakirodalmi eredmények összefoglalása .....	50
<b>3. CÉLKITŰZÉS .....</b>	<b>55</b>
<b>4. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK .....</b>	<b>57</b>
4.1 A vizsgált anyagok .....	57
4.1.1 A csokoládémasszák összetétele .....	57
4.1.2 A csokoládémasszák előállítása .....	59
4.1.3 A táblás csokoládé előállítása.....	60
4.1.4 A tárolási körülmények.....	64
4.2 A vizsgálati módszerek.....	66

4.2.1 Rotációs reometria .....	66
4.2.2 Oszcillációs reometria.....	68
4.2.3 Penetrometriás vizsgálatok .....	71
4.2.4 Érzékszervi vizsgálatok .....	74
4.2.5 A nagy hidrosztatikai nyomású kezelés .....	76
<b>5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKEKELÉSÜK.....</b>	<b>77</b>
5.1 A csokoládémassza folyási jellemzői .....	77
5.1.1 Rotációs reometria .....	77
5.1.2 Oszcillációs reometria.....	82
5.2 A szilárd csokoládé állományjellemzői .....	85
5.2.1 A csokoládé hőállóképessége .....	85
5.2.2 A csokoládé keménysége .....	91
5.3 A csokoládé érzékszervi jellemzői .....	114
5.3.1 A kedveltségi teszt (hedonikus skála) .....	114
5.3.2 A DLG vizsgálati módszer.....	117
5.4 A csokoládémassza nagy hidrosztatikai nyomással történő kristályosítása .....	118
5.4.1 A nagy hidrosztatikai nyomású kezelés hatására kristályosodott csokoládé keménysége .....	118
5.5 Felületi zsírkiválás .....	120
5.6 Új tudományos eredmények .....	123
<b>6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK .....</b>	<b>127</b>
6.1 Következtetések .....	127
6.2 Javaslatok.....	129
<b>7. ÖSSZEFOGLALÁS .....</b>	<b>131</b>
<b>8. SUMMARY.....</b>	<b>133</b>
<b>IRODALOMJEGYZÉK.....</b>	<b>134</b>
<b>KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS .....</b>	<b>141</b>

## 1. BEVEZETÉS

**A** *minőség, minőségirányítás* az utóbbi években mind egyre elterjedtebb fogalmakká váltak mindennapi életünkben. Ha belépünk egy iskola, kórház vagy akár egy polgármesteri hivatal várótermébe, megtekintjük vállalatok honlapját, nagyon sok esetben találkozunk tanúsítványokkal, amelyek bizonyítják, hogy a szervezet szolgáltató vagy termelő tevékenysége megfelel a tanúsítványban szereplő, a minőségirányítási rendszerre vonatkozó szabvány követelményeinek. A *minőségirányítási rendszer* – az MSZ EN ISO 9000:2005 (Minőségirányítási rendszerek. Alapok és szótár) alapján – *„Irányítási rendszer egy szervezet vezetésére és szabályozására, a minőség szempontjából.”*

A minőségirányítási tevékenység két fontos fogalma a minőség és a megfelelőség, amelyeket meg kell különböztetnünk egymástól. A *minőség* az adott objektummal (termékkel, személlyel, folyamattal, rendszerrel stb.) szemben támasztott igények kielégítésének teljesülésére vonatkozik, míg a *megfelelőség* az objektum adott követelményrendszerrel történő „szembesítésének” eredményéről ad információt. Ilyenformán tehát a minőség inkább szubjektív, megítélése a bíráló egyéni igényeitől függ, a megfelelőség pedig objektív. Az élelmiszeripari vállalatok számára mindkét jellemző egyformán fontos, hiszen versenyképességük megtartásának kulcstényezője a kiváló minőségű, minden követelménynek megfelelő termékek előállítása és forgalmazása.

A csokoládéfogyasztásnak évszázadok óta komoly hagyományai vannak, ez alól nem kivétel országunk sem. A Magyar Édességgyártók Szövetsége (GY. M. 2009) adatai alapján a magyarországi éves édességfogyasztás egy főre vetített értéke 3,9 kilogramm. Ezzel az adattal európai viszonylatban a középmezőnyben vagyunk, lemaradva az uniós átlagtól, és a felét sem érjük el a csokoládé- nagyhatalomnak számító Németország, Anglia, Svájc vagy Ausztria átlagos fogyasztásának.

A csokoládé élettani hatásai közül az átlagfogyasztó számára leginkább ismertek a „boldogsághormon”, azaz endorfintermelő illetve a szellemi teljesítőképeséget fokozó hatások. Ezek mellett azonban meg kell említeni az antioxidáns aktivitást, valamint azt, hogy szénhidrátforrásként az anyagcserében is jelentős szerepet tölt be. Szem előtt kell tartani azonban, hogy a csokoládé táplálkozásunkban élvezeti cikk-ként alkalmazandó, mértéktelen fogyasztása különféle betegségek kialakulását segítheti elő. Tehát itt is érvényes a régi mondás: Jóból is megárt a sok!

A csokoládégyártás egészen a közelmúltig empirikus ismereteken alapult, a nyersanyagok tulajdonságaira és az íz kialakulásra vonatkozó tudományos ismereteket csak az utóbbi évtizedekben

sikerült a modern gyártástechnológiába beépíteni. A nagy, komplex gyártósorok építésével, amely a termelékenység növekedését és az automatizálás fejlesztésének szükségességét vonta magával, elengedhetetlenné vált a gyártás során lezajló folyamatok, illetve a gyártásban résztvevő anyagok tulajdonságainak pontos ismerete. A növekvő termelés mellett a mind dinamikusabban fejlődő csokoládégyártás a minőség magas szinten tartására is törekszik. A piac változó igényeit figyelembe véve a cégek hagyományait őrző „házspecifikus” termékek mellett mindig újabbak jelennek meg. Termékfejlesztésre csak akkor van lehetőség, ha pontosan ismerjük a rendelkezésre álló anyagok, termékek fizikai, kémiai és érzékszervi tulajdonságait.

Kutatásaimban olyan  *folyékony halmazállapotú és szilárd, táblás csokoládékon* végeztem műszeres és érzékszervi vizsgálatokat, amelyeket pilot plant berendezések segítségével a németországi Fachhochschule Fulda alkalmazott tudományok főiskolájának technikumában állítottam elő.

Vizsgálataim egyik célja volt, hogy műszerek segítségével meghatározzam a csokoládé olyan tulajdonságait, amelyek döntőek a minőség szempontjából. *Alkalmas mérési módszerek* segítségével a minőségvizsgálatokat részben megfelelőség-vizsgálatokká alakítva gyors, megbízható, objektív döntési helyzeteket, és a termelési folyamatba való azonnali beavatkozási lehetőséget teremthetünk.

Tanulmányaim másik részében *technológiai elemzéseket* végeztem arra vonatkozólag, hogy kakaóvaj egyenértékű zsírok alkalmazása és a különböző tárolási körülmények milyen hatással vannak a csokoládé lényeges minőségi jellemzőire.

Végül pedig *új technológiai és mérési módszerek alkalmazhatóságát* teszteltem, úgymint a folyékony csokoládémassza nagy hidrosztatikus nyomással történő megszilárdítását, és reológiai jellemzőinek oszcillációval történő jellemzését.

Fontos megjegyezni, hogy kutatásaimban nem tűztem ki célul az érzékszervi vizsgálatok műszeres módszerekkel való kiváltását, hiszen nincs az a precíziós mérőberendezés, amely akár csak részben is pótolhatná az ember csodálatosan bonyolult működésű érzékszerveit. Vallom, hogy élelmiszerről lévén szó, a kettő együtt válik igazán alkalmassá a termék minőségének jellemzésére.

Végezetül pedig munkám során igyekeztem észben tartani Friedrich Dürrenmatt mondását:

*„Je genauer der Mensch plant, desto härter trifft ihn der Zufall.”*

*„Minél tervszerűbben cselekszenek az emberek, annál nagyobb erővel ütköznek a véletlenbe.”*



## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 2.1 A kakaóbabtól a csokoládéig – kultúra és történet

**A** legendákban továbbbszótt csodanövény mítosza egészen a Maják koráig, Kr.u. 600-ig nyúlik vissza. A leírások szerint (BECKETT 1990, DROUVEN et al. 1996) *Quetzalcouatl*, a szél- és napisten hozta magával a magokat. Amikor birodalmában kitört a szerencsétlenség, elvarázsolta a fát, és elásta a földbe. Utódai aztán megtalálták, és nagyon megörültek az értékes magvaknak.

Egy későbbi elbeszélés szerint erdei hangyák lopták el a magokat az istenek templomából, majd elásták azokat. Ezek aztán kicsíráztak, és tekintélyes fákká fejlődtek az indiánok földjében. A fák a fekete isten, *Eccucnea* védelme alatt álltak, akinek tiszteletüket a nagyobb ünnepek alkalmával különböző áldozati adományokkal fejezték ki.

Az istenek védelme alatt terjedt el ez a különleges növény őshazájában, Mexikóban, ahol ennek megfelelően isteni adománynak tekintették. Ezt a történeti örökséget a kakaó rendszertani neve is őrzi, hiszen a 18. században a svéd botanikus, *Linné* a *Theobroma* nevet adta a növénynek, ahol a „*theos*” szó istent, míg a „*broma*” élelmet, eledelt jelent.

Az aztékok legelőször csak a lágy, tejes pépet használták, amit úgy állítottak elő, hogy a babokat megpörkölték, malomköveken szétmorzszolták, az így nyert port kukoricaliszttal és vízzel kásává keverték, felmelegítették, és habosra verték. Minél tovább habosították, annál jobb ízű italt kaptak, amit először „*Cacauatl*”-nak, később „*Xocoatl*”-nak nevezték, ez keserűvizet jelent. Az italt afrodiziákumnak tekintették, az azték császár, *Montezuma* naponta 50 korsót ivott belőle. Kukorica és fűszerek hozzáadása után süteménnyé formázták a pépet, aminek természetfeletti erőt tulajdonítottak, emiatt ellátmányként szolgált a katonaság számára. A zsírt (kakaóvaját) lefölozték, és gyógyító szerként, valamint kozmetikumokban alkalmazták.

A babok hamarosan olyan értékesek lettek, hogy pénzürmék helyett fizetési eszközként is funkcionáltak.

Az árfolyam szerint: 100 db kakaóbab = 1 rabszolga.

Az akkori uralkodók adóként is elfogadták a magokat, így az állami kincstár kakaóbab tartalma gyakran a száz tonnát is elérte.

Először 1512-ben *Fernando Cortez* ismerte fel a kakaóbabok értékét, és az aztékok kegyetlen leigázása után 1528-ban szállította az ún. *Barna Aranyat* Spanyolországba. A cukorral és fűszerekkel ízesített ital mind nagyobb elismerésre tett szert, és az udvarnál, a nemesség körében főként a

hölgyek számára mind kedveltebbé vált a „*Chocolata*”. Később tejet kevertek hozzá, és a receptet szigorúan titokban tartották. Így aztán csaknem száz évig tartott, amíg az udvarokon és a gyógyszer-tárakon keresztül egész Európába eljutott.

Azonban a darált kakaóbabból és a cukorból álló keverék még korántsem jelent a mai modern fogyasztó számára csokoládét, hiszen ez csak egy durva, kellemetlen ízű massa, amihez még zsírt kell adagolni, hogy jól olvadjon. Ez a zsír a kakaóvaj, amit préseléssel vagy extrahálással kakaóbabból lehet elválasztani. A kakaóvaj kinyerésére 1828-ban, *Hollandiában van Houten* dolgozott ki egy eljárást, aminek két előnye is volt: a kipréselt kakaóvaját a csokoládégyártáshoz használták, és a zsírtalanított kakaóporból további feldolgozás során kakaó italt nyertek, amely jóval kedveltebb lett, mint az eredeti zsírtartalmú folyadék.

1876-ban elsőként *Daniel Peters Svájcban* készített tejcokoládét, ahol lehetséges volt a tejből történő vízelvonáshoz alkalmazott gépeket vízierőművekkel meghajtani, és így hosszabb időn keresztül gazdaságosan, alacsony költséggel működtetni. Ez a folyamat nagyon fontos, mert ha a csokoládé nedvességtartalma 2% felett van, jelentősen romlik az eltarthatósága.

Az idők folyamán különféle íz-irányzatok alakultak ki mind a tej-, mind az étcsokoládénál. Egyrészt megmaradtak bizonyos céges hagyományok, ahol ragaszkodnak a saját „házi” aromához, másrészt a csokoládé más édesipari termékek bevonataként, mint íz-kiegészítő és nedvesség-záró fontos szerepet tölt be.

## 2.2 Az édesipari készítmények táplálkozásélettani jelentősége

**A**z édességek élvezeti értékét elsősorban a fogyasztás során kialakuló kellemes érzet adja. Emiatt nagyon fontos az a csokoládéval szemben támasztott követelmény, hogy szobahőmérsékleten ne, ellenben a száj kb. 37 °C-os hőmérsékletén gyorsan olvadjon, hogy az aroma és ízanyagok felszabaduljanak.

Az édességek fontos szerepet játszanak a vércukorszint szabályozásában is, mivel magas *szénhidrát*tartalmuknál fogva szinte azonnal felszívódnak, és hozzájárulnak a kellemes közérzet kialakulásához. Alkalmasak arra, hogy dúsító és komplettáló anyagok – pl. aminosavak, vitaminok – *vivőanyag*aként szerepeljenek. A növényi fehérjéket sokáig nem tartották teljes értékűeknek, újabban viszont kísérletileg igazolták, hogy a növényi eredetű anyagok megfelelő keverékei teljes értékű aminosavforrások lehetnek. Kimutatták, a kakaóbab *proteinjeinek* emészthető része a tojás fehérjéivel egyenértékű, csak emészthetősége kisebb (MOHOS 1990).

A kakaóbab *fehérjetartalmával* függ össze, hogy a csokoládé fogyasztásával nő a szervezet szerotonin (5-hidroxitriptamin) tartalma. Ez a köznyelvben „*boldogsághormon*”-ként ismert kémiai anyag az egyik esszenciális aminosavból, a triptofánból hidroxilálás és dekarboxileződés során keletkezik. Szintetikus transzmitterként, valamint „idegi hormon”-ként nagyon fontos szerepet tölt be az idegsejtek közötti szinapszisokban és a fiziológiai folyamatokban. Az agyi szerotonintartalom változásának a pszichés tevékenységekre gyakorolt hatásáról még nincsenek pontos ismeretek, de ismert, hogy befolyásolja az alvás, ébrenlét, szexuális magatartás, táplálkozás, folyadékfelvétel és a hipofízis hormonelválasztásának szabályozását. Adatok vannak arra vonatkozóan is, hogy a leszálló szerotonerg<sup>1</sup> rostok gátolják az ingerületátvitelt a hátsó szarvi fájdalomérző pályákon, vagyis a szerotoninnak szerepe van a helyi érzéstelenítésben is (ÁDÁM 1991, GANONG 1995).

A folyékony csokoládé és a kakaópor szénhidrát-, zsír-, fehérje- és ásványianyag tartalmára vonatkozó analitikai adatokat a következő táblázatban láthatjuk:

**1. táblázat. Folyékony csokoládé és kakaópor tápértékadatainak összehasonlítása (EDMONDSON 2000)**

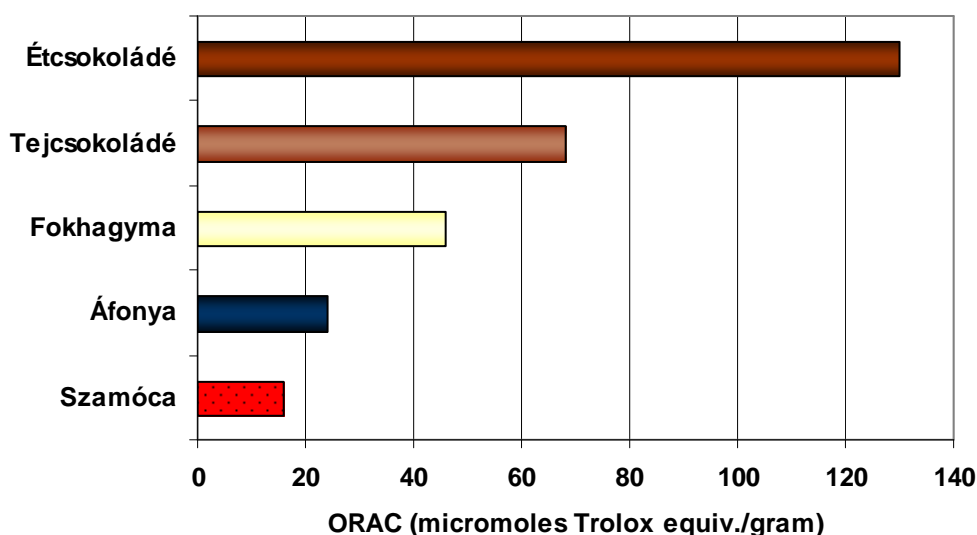
	Folyékony csokoládé	Kakaópor
Szénhidrát, %	30,3	56
Fehérje, %	10,5	19,6
Zsír, %	53,5	12,6
(telített zsírok)	32,1	8,6
Kalcium, mg	91	169
Foszfor, mg	314	795
Magnézium, mg	314	594
Vas, mg	13,5	13,9

A csokoládét évezredekkel ezelőtt gyógyszerként is alkalmazták azokon a területeken, ahol a kakaóbab megterem. A táplálkozástudomány és az orvostudomány vizsgálatainak régóta tárgyai a polifenolok, amelyek antioxidáns aktivitással rendelkező vegyületek. A polifenolok gyűjtőnév számtalan vegyületet foglal magában, legnagyobb csoportjuk a flavonoidok. A flavonoidok szinte minden növényben megtalálhatók, szerepet játszanak a virágok színét adó pigmentek termelődésében, védik a növényt a mikrobák, rovarok ellen. Jótékony hatásuk az állati és emberi szervezetben is

<sup>1</sup> szerotonint elválasztó idegsejtek

megmutatkozik, antiallergiás, gyulladáscsökkentő és daganatellenes hatással rendelkeznek, valamint hatékony antioxidánsok (MATOS, LENGYEL 2006). Az antioxidánsok a szervezet oxigénfelhasználása során keletkező szabad gyökök megkötésével a sejtek ellenállóképességét növelik. Ma már többségünk számára közzismert, hogy a gyümölcsök, főként a bogyógyümölcsök antioxidáns tartalma tekintélyes, ezért mindennapi fogyasztásuk ajánlott.

Az utóbbi években számtalan vizsgálat kimutatta, hogy a kakaóbab szintén számottevő *polifenolforrás*, elsősorban katechinekben, leukocianidinekben és antocianinekben gazdag. Az előbbiek fanyar ízű cserzőanyagok, szárítás során az enzimatis oxidáció hatására barnulást idéznek elő (SZABÓ, GYIMES 2008). Ennek köszönhetően tehát a magas kakaótartalmú csokoládé jelentős antioxidáns aktivitást mutat. A különböző élelmiszerek 'szabad gyök'-megkötő képességének mértékét az **1. ábrán** figyelhetjük meg.



**1. ábra. Élelmiszerek antioxidáns aktivitása (ORAC, Oxygen radical absorbance capacity) EDMONDSON (2000) nyomán**

A közelmúltban nagyon sok vizsgálat folyt a csokoládé flavonoid-tartalmának népegészségügyi vonatkozásait meghatározandó. WOLLGAST, ANKLAM (2000a), ANTAL (2003), MATOS és LENGYEL (2006) ismertetőiből megtudhatjuk, hogy a magas kakaótartalmú, polifenolokban gazdag étcsokoládé alkalmas a szív- és érrendszeri betegségek megelőzésére és kezelésére. Kimutatták ugyanis, hogy étcsokoládé rendszeres fogyasztása alatt csökken a vérnyomás, javul az inzulinrezisztencia. Emellett a csokoládében található flavonoidok gátolják a fokozott véralvadást, ezáltal mérséklék a szívinfarktus és a szívszélütés veszélyét.

A keringési rendszerre gyakorolt befolyáson kívül bizonyították a flavonolban gazdag csokoládé-ital *bőrvédő* hatását is. A kísérlek során rendszeres fogyasztása az ultraibolya fény okozta bőrpírt 15-20%-kal csökkentette.

A csokoládé *theobromin* tartalma frissességet, kellemes hangulatot eredményez, ez köztudott. Az azonban nem, hogy *köhögéscsillapító* hatású. Londoni tudósok igazolták (MATOS, LENGYEL 2006), hogy 6 dkg étcsokoládénak megfelelő theobromin mennyiség kodein tartalmú gyógyszerek-nél 33%-kal eredményesebben csillapítja a köhögést.

A csokoládéban található polifenolok mennyiségét *analitikai és technológiai szempontból* kutatta WOLLGAST, ANKLAM (2000b) és SANDMEIER (2000). Megállapították, hogy a nyers kakaó származási helye nagyban befolyásolja a késztermék polifenoltartalmát, ami a kakaófajtától és a fermentáció intenzitásától függ. A hagyományosan gyengén fermentált amerikai kakaó általában gazdagabb flavonoidokban, ezzel szemben a Venezuelából származó kakaó, amely intenzívebben fermentált, alacsonyabb flavonoidtartalmat mutat.

A gyártástechnológiai folyamatok hatással vannak a polifenoltartalomra. A fermentálás, szárítás, pörkölés, aprítás és az alkalizálás azok a tevékenységek, amelyek nagymértékben csökkentik a kakaó polifenoltartalmát, befolyásolva annak ízét. A csökkenés mértéke függ a technológiai paramétereiktől, például a magasabb hőmérsékleten végzett, hosszabb ideig tartó pörkölés után erőteljesebb fogyatkozás tapasztalható.

A kutatási eredmények figyelembevételével lehetővé válik, hogy a technológiai jellemzők megfelelő szabályozásával a kakaó kezdeti flavonol mennyiségét a gyártás során a lehető legmagasabb szinten őrizzük meg a késztermékben. SANDMEIER (2000) leírása alapján Japánban a fenti egészségmegőrző tulajdonságokat figyelembe véve előállították, és forgalomba hozták a polifenolokkal dúsított csokoládét.

A csokoládégyártás egyik újdonsága a Németországban kifejlesztett „fogbarát csokoládé” (HAUSMANNS 2009), amely hozzáadott szénhidrátként a kariogén szacharóz helyett úgynevezett *palatinózt* tartalmaz. Ez a funkcionális szénhidrát a csokoládé érzékszervi jellemzőire és a minőségére is kedvezően hat. A palatinóz a cukorrépából kivont szacharózból készül, amelyben a glükóz és a fruktóz molekula közötti  $\alpha$ -1,2 kötést enzim segítségével  $\alpha$ -1,6 kötéssé alakítják. Ezt a stabil kötést a szájban található plakk-képző baktériumok nem képesek bontatni, így nem keletkeznek fogzománc-károsító savak sem.

A fogbarát tejszokoládé előállításánál figyelembe kellett venni, hogy benne található tejpor tejcukrot tartalmaz, amely szintén kariogén hatású. A kísérletekben a tejporthoz kazeinnel helyettesítettek, és a gyártási jellemzőket (például konsolási hőmérséklet és idő) ennek megfelelően változtatták.

A *túlzott édességfogyasztás* miatti fokozott szénhidrátbevitel testsúlynövekedéshez, fogsodáshoz, egészségromláshoz vezethet, ami számos országban sajnos népbetegségnek számít. Az utóbbi évek kutatásai azonban rámutattak arra, hogy az elhízás nem elsősorban a túlzott szénhidrát-, hanem inkább a mértéktelen zsírfogyasztás „számlájára írható”. Ennek oka, hogy a szervezetben az elhízást eredményező zsírlerakódáshoz a szénhidrátoknak át kell alakulni zsírrá, ami energiaigényes folyamat. Tehát a szénhidrátok fogyasztását követő nettó zsírtermelés meglehetősen csekély. Ezzel szemben az elfogyasztott zsírok a szervezetben közvetlenül kerülhetnek raktározásra, nincsen szükség átalakulásra, mutat rá az összefüggésekre BIRÓ (2002), aki emellett a szénhidrátok számos élet-tani folyamatban – például egyes aminosavak, mikroelemek felszívódásában, zsírsavak lebontásában, makromolekulák felépítésében – betöltött nélkülözhetetlen szerepét is hangsúlyozza.

A betegségek megelőzésének legmegfelelőbb módja, ha az édesipari termékek fogyasztásánál is megtaláljuk az arany középutat, és változatos étrendet és életmódot folytatunk.

### 2.3 A kakaóbabtól a csokoládéig – gyártástechnológia

*A*

kakaóbab az édesipariipar nagyon fontos nyersanyaga, alapvetően háromféle terméket állítanak elő belőle, ezek:

- **kakaóvaj**
- **kakaópor**
- **csokoládé**

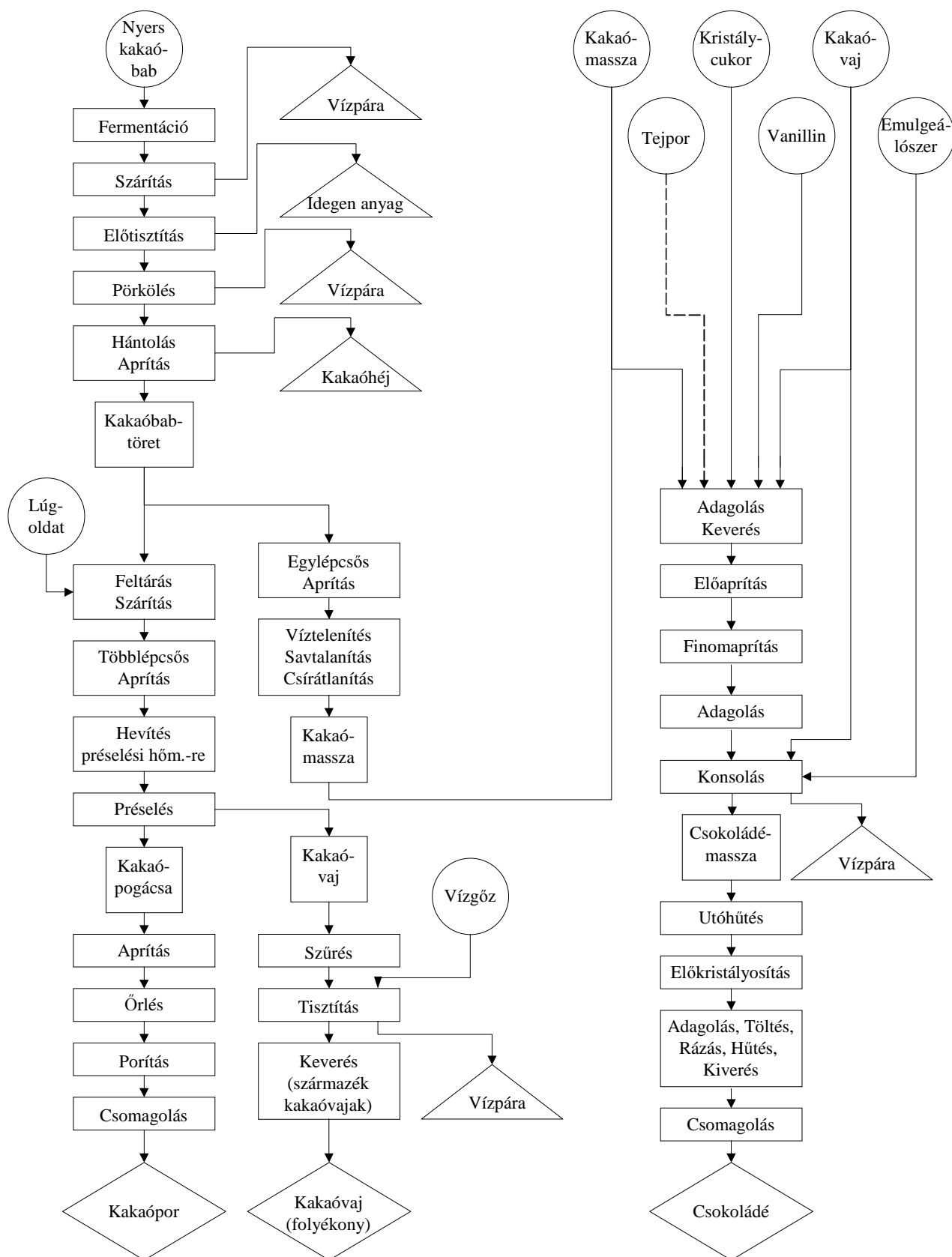
A gyártási folyamatok egyes lépéseit a **2. ábra** szemlélteti.

A **kakaóvaj** egyedülálló fizikai és kémiai tulajdonságai miatt a legfontosabb élelmiszeripari zsírok egyike, emellett nagyon sok gyógyszeripari és kozmetikai termék alapanyaga. Amennyiben csokoládékészítéshez használják fel, úgy a kakaóbab feldolgozás köztes termékének tekintendő a **kaómasszával** – ami a csokoládé legfontosabb alapanyaga – és a **kakaópogácsával** együtt. Ez utóbbiból készül a kakaópor.

A kakaóbab a kakaófa (*Theobroma cacao L.*) gyümölcsének magja. Szövettanilag három részre osztható:

- maghéj
- magbelső
- csíragyököcske

Ezek közül a **magbelsőt** dolgozzák fel, amit a mag sziklevele (nibs) alkot. A gyümölcsök és a magok genetikai és morfológiai különbségei alapján többféle kakaófajfajtát különböztetnek meg (MOHOS 1990).



**2. ábra. A csokoládé-, kakaópor- és kakaóvajgyártás folyamatábrája  
(BECKETT 1990, TSCHEUSCHNER 1996)**

### 2.3.1 A kakaó elsődleges feldolgozása

#### Termesztés és Szüret

A kakaóbab előkészítése során nagyon fontos a kakaófa gyümölcsének *megfelelő érettsége*.

#### Fermentáció

A fermentáció során a kakaóbab felületén megkötődött gyümölcshús elbomlik, a belsejében pedig baktériumok és élesztők hatására enzimes és kémiai reakciók mennek végbe, amelyek a megfelelő *íz- és illatanyagok kialakulásáért* felelősek.

#### Szárítás

A *víztartalom csökkentése 7%-ra* szállítási és tárolási célból, a *penészesedést megakadályozan*dó.

Az elsődleges feldolgozás a termőterületen történik, és célja az ipari megmunkálásra alkalmas nyersanyag létrehozása

### 2.3.2 A kakaómassza gyártása

#### Tárolás, Tisztítás és Osztályozás

A zsákos vagy silós tárolás során a *levegő páratartalma 70%-nál* ne legyen nagyobb, és fontos a *megfelelő szellőzés* biztosítása, ami a kártevők – elsősorban a kakaómoly – ellen nyújt védelmet.

A tisztítóberendezések rostákkal, szitákkal, kefékkel és mágnesekkel működnek, egyidejűleg történik a nagyság szerinti *osztályozás*, valamint a *szennyező anyagok* (por, homok, fa, kő, üveg, szálas anyag), *fémek kiválasztása*. A pneumatikusan kihordott szennyeződések ciklonrendszer választja le a levegőből.

#### Pörkölés

A folyamat lehet szakaszos vagy folytonos technológiájú, kb. 30-50 percig tart. A kakaóbab belsejének hőmérséklete 100-130°C. A víztartalom 4-6%-kal csökken, először az adhéziós erővel kötött felületi víz, majd a bab belsejéből a hajszálcsoveken át kiáramló nedvesség távozik.

Folytatódnak az *aroma- és színkialakulási folyamatok*, a *nemkívánatos illóanyagok*, főleg a szerves savak *lebomlanak*. A kakaóhéjba való diffundálással a zsiradéktartalom is kismértékben csökken, miközben a fehérjék egy része a hő hatására denaturálódik. A redukálócukrok és az aminosavak Maillard-reakció során átalakulnak, belőlük barna színanyagok keletkeznek.



### Hántolás és Durvaaprítás

Az aprítás hatására a pörkölt és ezért rideg kakaóbél 2-5mm nagyságú *darabokra esik szét*, közben a *maghéj leválik a belsejéről*. Ezután a kakaóbab-töret szitákkal történő nagyság szerinti osztályozása következik, majd a kakaóhéj eltávolítása légárammal. A kakaótöret maximum 2% maghéjat tartalmazhat.

BOLLER és BRAUN (2001) kísérleteikben igazolták, hogy az előaprítás során az összetevők-höz adagolt glükózoldattal a kakaómassza „aromásságát” fokozni lehet. Ennek oka a kakaóbabban található aminosavak és a glükóz, mint redukáló cukor molekulái között végbemenő „aromaképző” Maillard reakció (nem enzimes barnulás).

### Finomaprítás

A durvaaprítás és hántolás során keletkezett kakaótöret további feldolgozása attól függ, mi a végtermék. Kakaópor gyártásnál a finomaprítás során keletkező kakaómassza maximális szemcsemérete 70µm-nél kisebb, ha a kakaómassza csokoládégyártáshoz kerül felhasználásra, a maximális szemcseméret 70-100µm. A folyamat eredményeképpen keletkezik a *plasztikusan folyó kakaómassza*.

### **2.3.3 A csokoládémassza előállítása**

#### Adagolás és Keverés, Szuszpendálás

Az alapanyagok közül a szilárd porcukor, (tejpor a tejszokoládéhoz), a vanillin, valamint a folyékony halmazállapotú kakaómassza és a kakaóvaj egy része kerül adagolásra. Szakaszos vagy folytonos üzemű keverők és begyűrők végzik az anyagok homogenizálását, aminek eredményeképpen egy *durva szuszpenzió keletkezik*.

#### Elő- és Finomaprítás

Az előaprítást követő finomaprítás célja a csokoládé szilárd alkotórészei *végleges aprítottsági fokának kialakítása*. Hengerszékek vagy gyöngy-malmok segítségével a csokoládépasztában a kakaómassza, a porcukor és a tejpor szemcseméreteit 50µm-nél kisebbre csökkentik. Jó minőségű csokoládénál a szemcseméret 20-30µm.

Az aprítás folyamán *konzisztencia-változás* megy végbe, a folyékony csokoládépasztából *por-szerű anyag keletkezik*, mert a kakaóvaj a finomaprítás során megnövekedett felület miatt nem képes összefüggő diszperziós fázis kialakítására.

#### Konsolás (Finomítás)

A konsolás (más néven finomítás, kenőgyúrás) a csokoládégyártás egyik legbonyolultabb, legtöbb időt és energiát igénylő művelete, amely során az édes, diszharmonikus és jelentéktelen

ízű, aprított, porszerű köztes termékből finom, homogén szerkezetű, jellegzetesen harmonikus ízű csokoládémassza készül.

A folyamat **első szakaszában** (*száraz konsolás*) kakaóvaját adagolnak a porszerű csokoládémasszához, hogy *viszkózusan folyékony állagúvá* váljon. A folyékony masszát az ún. konsokban intenzív mozgásnak, keverésnek, gyúrásnak, levegőztetésnek, melegítésnek teszik ki. A mechanikus mozgatás során a *szemcsék és kristályok csiszolódnak, finomodnak*. Hő hatására a víztartalom kb. 1% alá csökken, és a *vízgőzzel eltávoznak az illó komponensek*. Egyes vegyületek a levegőn oxidálódnak, *kialakul a csokoládé jellegzetesen keserű aromája*. Éticsokoládé előállításakor a konsolás hőmérséklete 70-80°C, tejsokoládénál a hőre érzékeny tejszárazanyag-tartalom miatt max. 40-45°C.

A finomítás **második szakaszában** (*folyékony konsolás*) *adagolják a még hiányzó komponenseket*, a kakaóvaj még szükséges mennyiségét, ízesítőket és emulgeálószereket, elsősorban lecitint. A folyamat végén kialakul a csokoládémassza *finom szuszpenziója*.

A szakemberek egyetértenek abban, hogy a csokoládégyártás során az aromaképződés szempontjából a legkevésbé átlátható folyamat a konsolás. A művelet során végbemenő fizikai, reológiai és kémiai változások terén az elmúlt években számtalan vizsgálat folyt.

ZIEGLER (1997) a kémiai átalakulásokat tanulmányozva megállapította, hogy a kons egy reaktornak tekintendő, amelyben a pörköléshez hasonló kémiai reakciók játszódnak le jóval lassabban és alacsonyabb hőmérsékleten. A keletkező termékek egy része azonban még azonosításra vár.

TSCHEUSCHNER és LINKE (1998) a finomításkor beállított technológiai paraméterek (pl. konsolási hőmérséklet és idő, levegőztetés intenzitása, hozzáadott mechanikai energia, összetevők mennyisége és az adagolás időpontja) aromaképzésre gyakorolt hatását elemezte, hogy megtalálják az ízképzés szempontjából optimális értékeket.

JOLLY, BLACKBURN és BECKETT (2003) a gazdaságossági szempontokat figyelembe véve bebizonyították, hogy a konsolást megelőzően egy speciális extrúder (Reciprocating Multihole Extruder, RME) alkalmazva az energiafelhasználás 30%-kal és a finomítás időigénye 20%-kal csökkenthető a mintával megegyező viszkozitású csokoládémassza előállításakor.

ZIEGLER és társai (2003, 2005) ipari léptékű, komplex konsolási kísérletet hajtottak végre, amelyben táblás ét- és tejsokoládé előállításakor különböző finomítási időket alkalmaztak. A

konsolás során keletkezett köztes termékeket reológiai és aromaanalitikai szempontból elemezték, a késztermékeken pedig érzékszervi és fizikai vizsgálatokat végeztek.

Kísérleteikhez egy új, aromaanalitikai mérésekből származtatott paramétert – a konsolási fokot – vezettek be, amely a finomított csokoládémassza érzékszervi jellemzőivel kiválóan korrelál.

- Egyik fő megállapítása kísérletüknek, hogy a csokoládémassza aromaképződésében a konsolás első, vagyis száraz szakaszának van fontos szerepe. A hosszú ideig tartó száraz konsolás az összes fizikai paramétert jelentősen befolyásolja, ellenben a hosszú folyékony konsolás nem okoz szignifikáns változást ezekben.
- Igazolták, hogy a csokoládégyártás aprítási művelete előtt az összetevők közül kizárólag a kakaómassza és a kakaóvaj tekinthető aromahordozónak, az aprítás és a homogenizálás közben azonban az aromaanyagok részben a cukorhoz diffundálnak, és annak felületén abszorbeálódnak. Emiatt a gyártási folyamat során a kakaórészecskék és a kakaóvaj tekintetében aromavesztés lép fel.
- Végül az érzékszervi vizsgálatok segítségével egy technológiai szempontból lényeges tényrt tártak fel: A mai modern berendezésekkel végezve a finomítást az optimális konsolási idő 16-32 óra. Rövidebb idő alatt az aromaképződés nem kielégítő, és ezen túl a zsírfázis aromavesztése miatt – az aroma a diszpergált részecskék felületén kötődik meg – az érzékszervi jellemzők romlanak, ízetlen, zsírszerű jelleget kap a csokoládé.

### 2.3.4 A csokoládétermék készítése

#### Temperálás (Előkristályosítás)

A csokoládémassza temperálása egy előkristályosítási művelet, amely során az olvadékban kristálygócokat alakítunk ki hőmérsékleti és mechanikai paraméterek szabályozásával, esetenként a kakaóvajkristály stabil módosulatának beoltásával. A temperálás célja, hogy a formázási folyamat további műveletei során a csokoládémassza teljes *kakaóvaj-tartalma a stabil módosulatban kristályosodjék*, és túlnyomó többségben kisméretű, homogén kristályokat tartalmazzon. Ennek oka:

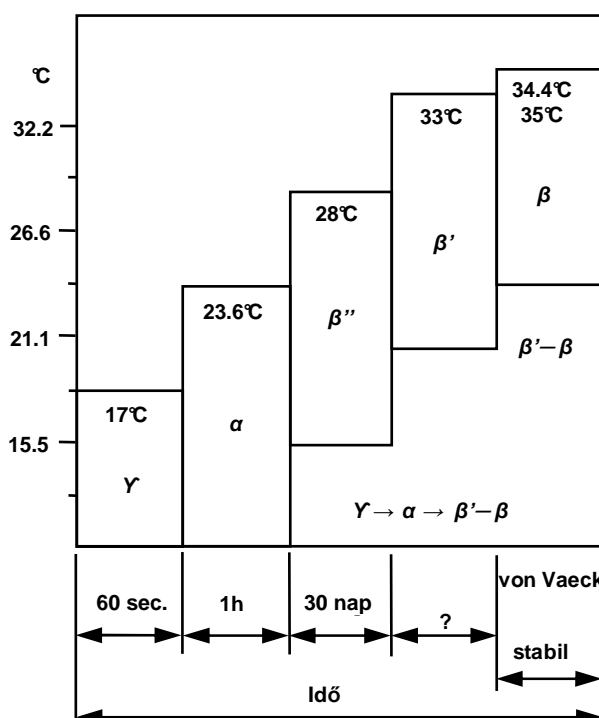
- a nagyenergiájú, instabil kristályformák stabillá alakulása közben hő szabadul fel, ami a kakaóvaj olvadásához vezet. Az olvadt kakaóvaj a felületre jutva megdermed, és szürke bevonatot képez (Fettreif / Fat Blooming)<sup>2</sup>.
- a jól temperált csokoládé (stabil kakaóvajkristály-módosulat) kontrakciója a legnagyobb, így a formából könnyen kivehető.

<sup>2</sup> zsírkiválás, kakaóvaj-érés vagy kakaóvaj-szürkülés

- a késztermék szilárdsági tulajdonságai kedvezőbbek, kagylós törésű, fényes felületű, hőálló és jól tárolható

A kakaóvaj polimorfiaja monotróp (csak egyetlen kristályforma stabil, az átmenet egyik módosulatból a másikba nem fordítható meg), *hat fő kristályszerkezete* különböztethető meg, a **stabil a  $\beta$ (VI)-módosulat**. Ezek hőmérsékleti eloszlási zónáit a **3. ábra** szemlélteti.

A kakaóvaj megszilárdulása – a többi zsírhoz hasonlóan – a *Gay-Lussac-Ostwald -féle lépcső-szabály* szerint történik, a helyesen végzett hűtési folyamat során a kialakult instabil kristályok egyre stabilabb kristályokba alakulnak át, míg el nem érik legstabilabb formát.



**3. ábra.** A kakaóvaj kristálmódosulatainak eloszlási zónái (BECKETT 1990)

A temperálást optimálisnak tekinthetjük, ha az első fokozatban a csokoládémassza zsiradékfázisa 3-5% stabil módosulatú kristályt tartalmaz. A művelet az alábbi három szakaszban megy végbe:

**Első szakasz.** 40-45°C-ról lehűtés 32°C-ra. Nagymennyiségű stabil kristály keletkezik, nő a viszkozitás.

**Második szakasz.** 32°C-ról lehűtés 28°C-ra. Újabb  $\beta$ -módosulat mellett kis mennyiségű instabil  $\beta'$ -módosulat is keletkezik, tovább nő a viszkozitás.

**Harmadik szakasz.** 28°C-ról felmelegítés 29-32°C-ra. Az instabil kristályok megolvadnak, csökken a viszkozitás, könnyebben kezelhető lesz a csokoládémassza.

Az előkristályosítási műveletet egymás után többször megismételve (*ciklotermikus előkristályosítás*) az étcsokoládé hőállóképessége 34-35°C-ra emelhető, a gyártási folyamat eredményeképpen egy keményebb, szilárdabb állományú késztermék születik (KLEINERT 1997).

TSCHEUSCHNER (1989) a kristályosodás alatt molekuláris szinten végbemenő fizikai változásokat részletezi. Különböző befolyásoló tényezőknek – úgy, mint a kakaóvaj-alternatíváknak, a kakaóvaj kristályképző adottságainak, az intenzív nyíró igénybevételnek, a hűtési és melegítési hőmérsékleteknek – az előkristályosodásra gyakorolt hatását vizsgálja.

#### Adagolás, Formázás, Hűtés (Főkristályosítás), Kivétel a formából

A temperált csokoládémasszát felmelegített *formákba adagolják*, ez után egy rázószakaszon vezetik keresztül, hogy a csokoládémassza a formákat egyenletesen töltse ki. A temperált, kiadagolt csokoládét hűtőalagútba vezetik, hogy *megszilárduljon*. Itt alakul ki a csokoládé kakaóvajtartalmának stabil kristályszerkezete, ez a lépés a főkristályosodás szakasza.

A hűtés három fázisa:

**I. fázis:** A hűtőlevegő kezdeti hőmérséklete (12-15°C) a pálya egyharmadáig 5-6°C-ra csökken, közben a csokoládé hőmérséklete kb. 16°C-ra süllyed. A mérsékelt hűtés előnye, hogy nem jön létre a felületen szilárd kéreg, ami rontja a hőátadást, és nem keletkezik instabil módosulat.

**II. fázis:** A hűtőpálya hőmérséklete kb. 4°C-ra, a csokoládé hőmérséklete kb. 9°C-ra csökken. A fokozatos hűtés következtében a még folyékony halmazállapotú kakaóvaj stabil szerkezetben kikristályosodik, miközben a felszabaduló látens hő hatására emelkedik a csokoládé hőmérséklete.

**III. fázis:** A hűtőközeg hőmérséklete fokozatosan emelkedik, és a csokoládé kb. 12°C-on hagyja el a hűtőalagutat.

A megfelelően temperált illetve hűtött csokoládéban a kakaóvaj *kontrakciója, zsugorodása* következik be, így a késztermék többnyire gépi úton könnyedén, sérülésmentesen kiverhető a formából.

LÖSER és TSCHEUSCHNER (1981) már korai csokoládémassza temperálásával és hűtésével kapcsolatos munkájukban rámutattak, hogy a massa formába-adagolásakor a formák hőmérséklete nagyban befolyásolja a megszilárdulási folyamatot, ezáltal a késztermék minőségét. Ha a forma túl meleg, a csokoládé megolvad a határfelületen, és ez a része a hűtésekor úgy kristályosodik, mint a nem temperált massa. A túl hideg formába adagolt termék határfelülete na-

gyon gyorsan megszilárdul, és a tárolás közben két nap után elveszti fényét. Ezekből jól látszik, mennyire fontos technológiai lépés az adagolóformák hőmérsékletének beállítása.

Kísérleteikben azt is bizonyították, hogy a helyesen temperált táblás étcsokoládé 5-18°C hőmérsékleten tárolva legalább öt hónapig eltartható anélkül, hogy bekövetkezne a zsírkiválás.

HAUSMANN et al. (1993) a hűtési paramétereknek a késztermék minőségi jellemzőire gyakorolt hatását vizsgálták. Az első lépésben bebizonyították, hogy a lassú hűtési folyamat – az ajánlások ellenére – nem eredményez minőségjavulást. A legjobb minőségű csokoládé előállításához az utolsó hűtési szakasz hőmérséklete 10-14°C között legyen. Ennél magasabb hőmérséklet hatására a késztermékben megnő a csak részben kristályosodott zsírfázis aránya, ami azt eredményezi, hogy a tárolás alatt spontán módon folytatódik a kristályosodás, és ez minőségromláshoz vezethet. Érzékszervi kutatásaikban tanulmányozták a különböző hűtési hőmérsékleteken megszilárdult csokoládé állományát (fényét, törését és olvadását). Kimutatták, hogy a 15-20°C-on kristályosodott késztermék hűtési hőmérséklete és a szerkezeti jellemzői között nincsen szignifikáns összefüggés. Azonban az érzékszervi bírálók egyértelműen jónak ítélték a 15°C alatti hőmérsékleten kristályosodott minták minőségi jellemzőit, és közepesnek illetve rossznak a 20°C felettiekét.

A csokoládégyártás folyamatosan új kihívásokkal találja magát szemben, hiszen az ugrásszerűen megnövekedett termékskála csökkenő tétel nagyságot okoz, és gyors termékváltást követel. Ennek vívmánya a **hideg nyomó rendszer**, amelynek szerepe a csokoládémassza formázásában van. Működése során a mélyhűtött bélyeget rövid időre a csokoládémasszába merítik, majd kivételkor kialakul a kéreg a formán. Ez a módszer a formázási folyamatban gyors termékváltást tesz lehetővé, mert a hideg nyomó fej rendszer több különféle bélyegtányérból áll, amelyek mindegyike külön hűtőközeggel rendelkezik, és a tengely elfordításával azonnal üzembe helyezhető (SZABÓ 2007).

A hideg nyomó rendszer a hagyományos formázással szemben számos előnnyel rendelkezik (Frozen Cone® 1999), ilyenek:

- mintegy 30%-kal kevesebb energiafelhasználás,
- nem kell a szükségesnél nagyobb mennyiségű csokoládét temperálni,
- az üreges termékek falvastagsága pontosan szabályozható és egyenletesen képezhető, ezáltal csokoládé-megtakarításra van lehetőség,
- a massa viszkozitás-ingadozása okozta nehézségek kiküszöbölhetőek,

- a módszerrel többféle csokoládémassza kombinálható egy terméken belül, ezáltal lehetővé téve a dekorációkészítést.

BÖHME és LINKE (2003a) a hideg nyomó rendszerrel előállított étcsokoládé minőségi jellemzőit vizsgálva megállapította, hogy a 0-20°C hőmérséklet tartományban hideg formázással előállított csokoládék nem mutatnak értékelhető minőségbeli különbséget. Az alacsonyabb hőmérsékletű és ennek megfelelően rövidebb ideig tartó hidegformázás nem befolyásolta negatívan a termékek szilárdulási és szerkezetképződési folyamatait.

BÖHME és LINKE (2003b) további kísérleteikben bebizonyították, hogy a viszonylagosan rövid ideig tartó hideg formázás nem hat negatívan a termékek eltarthatóságára. Ennek oka, hogy a hideg formázási folyamat gyorsan véget ér, ezért a termékek kristályosodása még nem indul el. Azonban annyira nő a massa viszkozitása, hogy a formázott, még olvadt héj formatartó marad, és később a hűtőcsatornában ebben a formában kristályosodik. A szükségesnél hosszabb ideig tartó -20°C-on végzett formázás a héj keménységét és a töltelékek stabilitását csökkenti, magasabb hőmérsékleten végezve a formázást ez a negatív hatás csökkenthető. A szerkezetileg legstabilabb héjak -20°C-on 3 másodperc alatt képződnek. Azonban a frissen előállított héjak felületi fénye a fentiekkel ellentétben nem függ a hideg formázás paramétereitől.

#### Tárolás (Utókristályosodás)

A gyártási folyamat befejeztével az előállított készterméket a gyártótól a kiskereskedőig meghatározott körülmények között tárolják. Ideális esetben a tárolási körülmények a disztribúciós lánc minden résztvevőjénél szabályozhatók, hiszen a csokoládé száraz, hűvös és fényvédett helyen tárolva őrzi meg legnagyobb mértékben minőségi jellemzőit.

A nem megfelelő körülmények között (például túl magas hőmérsékleten) tárolt étcsokoládé késztermékben a tárolás alatt – ellenőrizetlen körülmények között – a kristályformák monotróp  $\beta(V) \rightarrow \beta(VI)$  átalakulása megy végbe, amely felületi zsírkiváláshoz (Fettreif, Fat Blooming) vezet. A polimorf átalakulás következtében a tárolt csokoládé jóval keményebbé válik, mint a frissen előállított. Tejcsokoládéban a tejszír megakadályozza az átkristályosodást.

HAUSMANN és társai (1994) vizsgálták a tárolási hőmérséklet és idő hatását étcsokoládé és tejcsokoládé fizikai jellemzőire (kristályosodott zsírtartalom, nyomási szilárdság és olvadási magasság). Megállapították, hogy a három hónapos tárolási idő végére a fizikai jellemzők egyike sem ért el konstans értéket, tehát a csokoládéban zajló kristályosodási folyamatok nem fejeződtek be. A nyomási szilárdság (keménység) a tárolási idő és hőmérséklet növekedésével nő, míg az olvadási magasság (hőhatásnak kitett henger alakú minta magassága) csökken. Az

éticsokoládé kritikus tárolási hőmérséklete a 18°C, ennél magasabb hőmérsékleten nagyon hamar minőségromlás következik be. A tejsokoládé tekintetében ez az érték 14°C.

A csokoládé gyártástechnológiájának további részletei megtalálhatók MOHOS (1990, 2010), BECKETT (1990), DROUVEN et al. (1996), KLEINERT (1997), MINIFIE (1989) műveiben.

## 2.4 Kakaóvaj és alternatívák

A MAGYAR ÉLELMISZERKÖNYV (2010) definíciója alapján a(z) (ét)csokoládé olyan termék, amely kakaótermékekből és cukrokból készül, legalább 35% összes kakaó szárazanyagot tartalmaz, ebből legalább 18% a kakaóvaj és legalább 14% a zsírmentes kakaó szárazanyag. A csokoládé egyik fő, legértékesebb alapanyaga tehát a *kakaóvaj*, amely meghatározza annak fizikai és érzékszervi tulajdonságait, így például a *kristályosodási jellemzőket, textúrát, felületi fényt, kontrakciót, keménységet, formázhatóságot, hőállóképességet*.

### 2.4.1 A kakaóvaj

**Kakaóvajnak** nevezhető az a kakaóbabból vagy kakaóbab részeiből nyert zsír, amelynek olajsavban kifejezett szabadzsírsav-tartalma legfeljebb 1,75%, és a petroléterrel meghatározott el nem szappanosítható anyag tartalma legfeljebb 0,5%, kivéve a préselt kakaóvaját, amelyben legfeljebb 0,35% - áll a MAGYAR ÉLELMISZERKÖNYV (2010) meghatározásában.

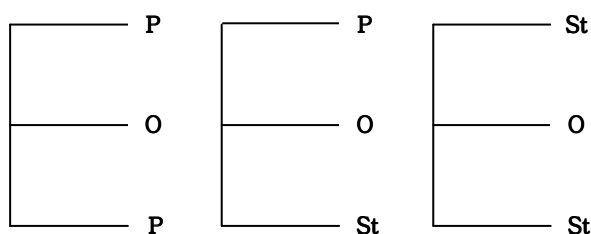
A kakaóvaj *fizikai és kémiai tulajdonságait* a származási hely és a termesztési viszonyok nagyban befolyásolják. A három legjelentősebb termelőt – Malaysiát, Ghánát és Brazíliát – tekintve a legpuhább a brazil, a legkeményebb a maláj kakaóvaj (STORGAARD 2000). A kakaóvaj kémiai szempontból a trigliceridek (zsiradékok, étkezési zsírok és olajok) csoportjába tartozik, amelyek jellemzően egy háromértékű alkohol (glicerin) és három alifás organikus sav (zsírsavak) észterei. Zsírsavösszetételével (**2. táblázat**) magyarázhatók különleges fizikai jellemzői, például az élelmiszeripar számára oly fontos keménység és olvadási tulajdonság; sajátossága, hogy kevéssel a testhőmérséklet alatt, szűk hőmérséklet-tartományban (33-36°C) gyorsan olvad.



**2. táblázat. A kakaóvaj zsírsavösszetétele (MOHOS 1990)**

Zsírsav	Százalékos arány, m/m%
Palmitinsav (C <sub>16</sub> )	24,4
Sztearinsav (C <sub>18</sub> )	35,4
Olajsav (C <sub>18:1</sub> )	38,1
Linolsav (C <sub>18:2</sub> )	2,1

A kakaóvaj trigliceridjeinek kb. 80%-át az egyszeresen telítetlen POP, POSt és StOSt<sup>3</sup> szerkezeti felépítésű trigliceridek (**4. ábra**) alkotják, amelyekben a glicerin két szélső helyzetén telített zsírsavak, közepén pedig olajsav észteresednek (szimmetrikus trigliceridek) (KLEINERT 1997, MOHOS 1990)

**4. ábra. A kakaóvaj jellemző triglicerid-szerkezete (KLEINERT 1997)**

A nyers **kakaóvaj előállítása** KLEINERT (1997) leírása alapján történhet:

- pörkölt, hántolt, alkalizált kakaóbab-töretből hidraulikus *préseléssel*, ezt a klasszikus módszer mutatja be a **2. ábra**,
- sérült, gyenge minőségű, tisztítatlan, hámozatlan és aprítatlan kakaóbabból *expeller-eljárással* (leválasztás sajtolással) és oldószeres extrahálással.

Az utóbbi módszer azonban nem megfelelő minőségű kakaóvaját eredményezvén a csokoládégyártásban gyakorlatilag nem jön szóba.

A nyers kakaóvaját – szükség szerint – további feldolgozásnak, *raffinálásnak (finomítás)* vetik alá, amely a kiindulási anyag minőségétől függően jelenthet szűrést, semlegesítést, színtelenítést és szagtalanítást. A finomítás műveleteit előírászerűen végezve a kakaóvaj kristályosodási jellemzői nem változnak jelentősen.

<sup>3</sup> P (palmitinsav), O (olajsav), St (sztearinsav)

BOLENZ és társai (2008) kísérletet végeztek arra vonatkozólag, lehet-e a csokoládé kakaóvajtartalmát mérsékelve elfogadható minőségű (többek között megfelelő szemcseméretű) készterméket előállítani. Az összetevők bekeverését követően kevés vizet adtak a masszához a sok kisméretű cukorkristályt részben feloldandó, majd a gyártási folyamat során elpárologtatták azt, hogy így javítsák a reológiai jellemzőket. Eredményeik szerint kismértékben sikerült csökkenteni a zsírtartalmat és egy kisebb folyáshatárral bíró csokoládémasszát előállítani, azonban – javaslatuk alapján – meg kellene vizsgálni, hogy a csökkentés mértéke megéri-e a többletráfordítást.

#### 2.4.2 A kakaóvaj-alternatívák

Már a 19. és a 20. század fordulóján használtak kakaóvaj pótlására különböző eredetű növényi zsírokat a csokoládé-előállítás során költségcsökkentési és egyéb technológiai célzattal. A dán Aarhus Oliefabrik 1897-ben szállított első ízben laurinsavat tartalmazó növényi zsírt egy dán csokoládégyárba. A gyártók buzgón kerestek kakaóvajhoz hasonló tulajdonságokkal rendelkező alternatív zsírokat, s olyan alapanyagokkal kísérleteztek, mint a Borneo-faggyú vagy az Illipe. A kor leggyakrabban alkalmazott növényi zsírjaivá a kókuszolaj és a pálmaolaj váltak (BECKETT 1990).

Az édesipari célzsírok elnevezését illetően többféle leírás található az irodalomban. BECKETT (1990), KLEINERT (1997) és KERTI (2001) két fő csoportra osztja azokat:

1. Kakaóvajjal keverhető (kakaóvaj-egyenértékű, kakaóvaj-ekvivalens) zsírok (Cocoa Butter Equivalents, CBE-s), amelyek fizikai és kémiai tulajdonságaikban is csaknem megegyeznek a kakaóvajjal, így vele korlátlanul kevervén a keletkező elegy tulajdonságai nem térnek el a kakaóvaj jellemzőitől.

Ezen a csoporton belül MOHOS (1990) megkülönbözteti a *kakaóvaj kiegészítő* (Cocoa Butter Extender, CBEx) zsírokat, amelyek kevésbé jó minőségűek, ezért a kakaóvajjal csak bizonyos mértékig (10-20%) keverhetők, hogy az elegy tulajdonságai ne változzanak a kiindulási anyagéhoz képest.

MATISSEK (2000) ide sorolja a *kakaóvaj-javító* (Cocoa Butter Improver, CBI) zsírokat, amelyek kémiai összetételt tekintve a CBE-zsírok csoportjába tartoznak, de kakaóvajhoz keverve keményebbé, hőállóbbá teszik a készterméket.

2. Kakaóvajjal nem keverhető (kakaóvaj helyettesítő) zsírok (Cocoa Butter Replacers, CBR-s), amelyek fizikai tulajdonságaikban nagyon, de kémiai jellemzőikben kevésbé hasonlítanak a kakaóvajra. 25%-os arányon felül kakaóvaját adagolva az elegy fizikai paraméterei jelentősen módosulnak. Előnyük, hogy oxidációval szemben stabilak, nem szappanosodnak; nincsen szükség temperálásra, mert hűtésekor stabil módosulatban kristályosodnak, és növelik a

termékek eltarthatóságát, hosszantartó fényt eredményeznek. Főként mártó- és bevonómasszák készítéséhez használatosak.

MOHOS (1990), MINIFIE (1989) és KOMEN (1989) a fentiek mellett megjelöl egy következő nagy csoportot is:

3. Kakaóvajpótló zsírok (Cocoa Butter Substitutes, CBS-s, „nugátzsírok”), amelyek csak fizikai paramétereikben hasonlítanak a kakaóvajra, ezért egyáltalán nem keverhetők azzal. Az elegy rendkívül kedvezőtlen és előre ki nem számítható tulajdonságokkal rendelkezik. Előnytelen jellemzőjük a szappanosodásra való hajlam, mert víz hatására hidrolizálnak, és kellemetlen, szappanos, avas ízt eredményező, rövid szénláncú zsírsavak keletkeznek. A CBS-zsírok az ún. compound-termékek kitűnő alapanyagai. Ezek a csokoládéhoz hasonló kakakós termékek (pl. kakaós bevonómasszák), de kakaóvaj helyett CBS-zsírt (vagy CBR-zsírt) tartalmaznak. A CBS-zsírral készült tömör táblák vagy figurák jól formázhatók és ún. „magas” fényük van, ezáltal a csokoládé tulajdonságaira emlékeztetnek. A CBR-zsírok mind formázhatóság, mind felületi fényesség tekintetében szerényebb minőséget képviselnek.

A MAGYAR ÉLELMISZERKÖNYV (2010) alapján a **kakaóvaj-egyenértékű (kakaóvaj-ekvivalens, CBE) zsírok**

- ⇒ laurinsav-mentes növényi zsírok, amelyek POP, POSt és StOSt típusú, szimmetrikus, egyszerűen telítetlen trigliceridekben gazdagok;
- ⇒ bármilyen arányban keverhetők kakaóvajjal, és annak fizikai tulajdonságaival (olvadáspont és kristályosodási hőmérséklet, olvadási sebesség, temperálási igény) kompatibilisek;
- ⇒ csak finomítási és/vagy frakcionálási eljárásokkal készülnek, amelyek kizárják a triglicerid-szerkezet enzimikus megváltozását.

### 3. táblázat. A csokoládégyártásban engedélyezett növényi zsírok (MAGYAR ÉLELMISZERKÖNYV 2010)

A növényi zsír szokásos neve	A felsorolt zsírokat tartalmazó növények tudományos elnevezése
1. Illipe, Borneo-faggyú vagy Tengkawang	Shorea spp.
2. Pálmaolaj	Elaeis guineensis, Elaeis olifera
3. Sal (egy K-indiai fafajta)	Shorea robusta
4. Shea	Butyrospermum parkii
5. Kokum gurgi	Garcinia indica
6. Mango magzsír	Mangifera indica

A csokoládégyártáshoz engedélyezett növényi zsírok a **3. táblázat**ban felsorolt növényekből nyerhetőek ki. A fagyasztott termékek előállításához felhasznált csokoládé a lenticen kívül tartalmazhat kókuszolajat is. A lenti növényi zsírok a csokoládéban a késztermék mennyiségének (az előírásban meghatározott lényegi összetevőket számításba véve) maximum **5%**-ban alkalmazhatók, és nem csökkenthetik a termékre minimálisan előírt kakaóvaj-, vagy összes kakaó szárazanyag mennyiségét.

A hazai (MOHOS 2003, 2004) és a nemzetközi irodalomban (KUENECKE 2000, MATISSEK 2000, SCHERER 2003) bőven találunk a kakaóvaj-alternatívák alkalmazására vonatkozó élelmiszerjogi szabályozásra magyarázatot, némelyek az előírást gyakorlati számítási példák-  
kal illusztrálják.

Az élelmiszeripari célzsírok előtérbe kerülésével mindinkább felmerül az igény olyan vizsgálati módszerek alkalmazására, amelyekkel a kakaóvaj alternatívák nagy biztonsággal kimutathatók édesipari termékekből.

SIMONEAU és munkatársai (1999) nagyfelbontású gázkromatográfiás (HRGC) analitikai módszer segítségével nagyon jó eredménnyel mutatták ki a csokoládétermékekből az 5%-ban jelenlévő CBE zsírokat. Bizonyítást nyert továbbá, az édesipari zsírok kimutathatósága nagymértékben függ a fajtájuktól, származási helyüktől, a legnehezebben kimutatható az Illipe.

A kakaóvaj és kakaóvaj-alternatívák termoanalitikai vizsgálatát végezte KERTI (2000), aki a kristályosodást elemezve szakaszosan és folyamatosan temperált kakaóvaj, kakaóvaj-alternatívák és ezek keverékeinek hűlési görbéit vette fel, illetve izoterm DSC (Differential scanning calorimetry) -méréseket végzett azokon. Megállapította, hogy a vizsgált tiszta (keverés nélküli) zsírminták mind folyamatos temperálás után felvett hűlési görbékkel, mind izoterm DSC-mérés során felvett hőáram-görbék segítségével jól megkülönböztethetők. Az elegyeket vizsgálva azt is bizonyította, hogy a DSC-módszer nem alkalmas 5%-ig bekevert idegen zsír kimutatására, azonban a folyamatos temperálást követően felvett hűlési görbe kimutatja az 5%-ban jelen lévő CBS-zsírt.

MATISSEK (2000) előadásában a kakaóvaj-alternatívák analitikai vizsgálatára a magas hőmérsékletű, nagy felbontóképességű kapilláris gázkromatográfiát (HT-HRGC) mutatja be, amellyel nagy pontossággal elemezhető a zsírok triglicerid szerkezete.

FEJŐS és társai (2005) tejcsokoládé és kakaóvaj olvadási és kristályosodási viselkedését hasonlították össze többszöri lehűtés és felolvasztás hatására DSC módszerrel. Bizonyították, hogy a csokoládé termofizikai tulajdonságait fő összetevője, a kakaóvaj határozza meg. A statisztikai elemzések során kimutatták, hogy a tejcsokoládé olvadási hőmérséklete néhány fokkal alacsonyabb,

mint a kakaóvajé, entalpiája pedig azénak egyharmada. Ennek oka a csokoládében található egyéb, nem zsír jellegű összetevők jelenléte.

## 2.5 Zsírkiválás, szürkülés (Fettreif, Fat Blooming)

A csokoládé felületén rövidebb vagy (jó esetben) hosszabb idő elteltével megjelenő, szürke vagy fehér színű, zsírkristályok alkotta bevonatot *kakaóvaj-érésnek* (*Fettreif*, *Fat Blooming*), *szürkülésnek*, *felületi zsírkiválásnak* nevezzük. Ez a minőségi hiba élelmiszerbiztonsági szempontból nem jelent kockázatot, azonban nemkívánatossá teszi a terméket rontva annak külső megjelenését és a fogyasztás során elvárt egyéb (pl. keménység, olvadási tulajdonság) jellemzőit.

Számtalan tanulmány látott napvilágot vizsgálva a zsírkiválás kialakulásának okait, a megelőzés lehetőségeit, a gyártástechnológia és a tárolási körülmények hatásait (BUEB 1971, ZIEGLER és SCHWINGSHANDL 1999, SUBRAMANIAM 2000, ZIEGLER 2000, PEDERSEN 2000, ZIEGLER és HORNIK 2003, JOVANOVIĆ és PAJIN 2004).

ZIEGLER (1995a-b) munkájában jellemezte a zsírkiválásért felelős mechanizmusokat, leírta a lehetséges kiváltó okokat, és javaslatokat tett a kialakulás mértékének csökkentésére, megakadályozására.

### 2.5.1 A zsírkiválás kialakulásának mechanizmusai

#### 1. A csokoládé utókristályosodása

A gyártási folyamat hűtési (utókristályosodási) szakaszában nagyon fontos, hogy a termék megfelelő hőmérsékleten elegendő időt töltsön a hűtőcsatornában, ellenkező esetben a kristályosodás nem megfelelő mértékben megy végbe, a kristályok nagy hányada instabil állapotban marad. Ezt követően a kristályosodás ellenőrizetlen körülmények között folytatódik a késztermékben – főként a tárolási hőmérséklet ingadozásának hatására, a kisméretű kristályok feloldódása és a nagyméretűek növekedése miatt jelentősen nő a kiszürkülés esélye.

#### 2. Polimorf átalakulás

Megfelelő gyártási paraméterek mellett relatív stabil kristályformák képződnek a termékben.

Az étcsokoládében 18°C feletti tárolás során a stabil kristályformák monotróp  $\beta(V) \rightarrow \beta(VI)$  átalakulása megy végbe, amelyet külső szerkezeti változások követnek. Mialatt a  $\beta(V)$  módosulat polikristályos szferolitokat (sugaras-rostos szerkezetű gömbös kiválások) képez egy homogén,

sűrű kristálytömeget alkotva, a  $\beta(VI)$  forma inkább romboéderes kristálytűket hoz létre. Mivel az átalakulás nagyon lassan megy végbe, ezért gyakran egyedülálló, viszonylag nagyméretű kristályok alakulnak ki, amelyek a csokoládé felületét átszúrva 4-5  $\mu\text{m}$  hosszan túlnőnek. A túlnőtt zsírkristályok kezdetben fénytelenre teszik a felületet, de előrehaladott állapotban már szürke vagy fehér réteget képeznek.

A gyártási paramétereket nem megfelelően betartva instabil módosulatok maradnak vissza a termékben – a csokoládé látens hő tartalmaz –, amelyek a fenténél intenzívebb polimorf átalakuláson mennek keresztül, jelentősebb szerkezeti változásokat és zsírkiválást eredményezve.

### 3. A zsírfractionálódás folyamata

A kakaóvaj túlnyomórészt trigliceridek keveréke, a szobahőmérsékletnél magasabb hőfokon részben folyékony marad. Gyors hűtés hatására a megszilárdult trigliceridek kristályokat képeznek, amelyek folyékony alkotórészeket zárnak magukba. A trigliceridek közül geometriai alakjukból kifolyólag főként a szimmetrikus (szélső helyzeteken telített, középső pozícióban telítetlen zsírsavak észteresednek, POP, POS, SOS) felépítésűek hajlamosak a stabil kristályképzésre, az aszimmetrikus illetve telítetlen trigliceridek (SOO, POO illetve OOO) maradnak elsősorban az olvadék-zárványokban. Az idő múlásával a folyékony, bezárt trigliceridek a kakaóvaj-olvadékba vándorolnak, mialatt az olvadékban maradt, megszilárdult összetevők beépülnek a kristályba. Ez a frakcionálódás folyamata, amelynek következtében folyamatos kristálynövekedés, ezáltal felületi zsírkiválás tapasztalható.

### 4. Migráció okozta zsírkiválás

A felületi kiszürkülés e formája a töltött csokoládétermékeket érinti. A jelenség során a töltelék alkotó olajok részben a csokoládé-bevonatba, és a bevonatban található trigliceridek a töltelékbe diffundálnak. Ez a kétirányú vándorlás azonban nem egyforma sebességgel történik. Törökmogyoró masszával töltött tejcsokoládén végzett vizsgálatokkal igazolták, hogy a termék belsejétől a külseje felé végbemenő migráció körülbelül négyszer gyorsabb, mint az ellenkező irányba, míg egyfajta telítettség fel nem lép. A migráció az idő elteltével jelentős mennyiségű „zsírcserét” és felületi szürkülést eredményez.

A felsorolt négy mechanizmus nem külön-külön – sem egymástól függetlenül – hanem *egyidejűleg, egymást kölcsönösen befolyásolva* megy végbe. A töltetlen étcsokoládét tekintve a minőségi hibát okozó felületi zsírkiválást az utókristályosodás, a polimorf átalakulás és a zsírfractionálódás folyamataink kölcsönhatása okozhatja.

### 2.5.2 A zsírkiválás kialakulásának megelőzése

A csokoládétermékek felületén megjelenő kakaóvaj-érés a megfelelő technológiai paraméterek betartásával, illetve különböző segédanyagok hozzáadásával késleltethető, esetenként megakadályozható. A segédanyagok használatakor fontos ismerni az alkalmazhatóságra vonatkozó jogi szabályozást.

- **Előkristályosítás (temperálás):** intenzív előkristályosítással egyenletesen kisméretű kristályok képződnek nagy tömegben kevés esélyt adva az egyedülálló, nagyméretű kristályok kialakulásának, és ezzel a kakaóvaj-kiválásnak.
- **Főkristályosítás (hűtés):** a leggyorsabb és leghatékonyabb a kristályosodás folyamata 15°C körüli hőmérsékleten. A 10°C alatti hűtés hatására a massa üvegszerű, amorf szerkezetben dermed meg, majd később ellenőrizetlen körülmények között hőképződés kíséretében átkristályosodik, s durva, nagyméretű kristályok keletkeznek kiváló „táptalajt” adva a kiszürkülésnek.
- **Csomagolás:** a hűtőcsatornát elhagyva a termék még meglehetősen reaktív, ilyenkor szabadul fel a maradék kristályosodási hő. A terméket legtöbbször azonnal becsomagolják, majd egységcsomagokat képezve egymáson tárolják, ami kedvező a helyi, hőmérsékleti gócok kialakulása szempontjából. Hő hatására a termék részben megolvad, a kristályok egy hányada feloldódik, majd lehűlve ellenőrizetlenül átkristályosodik. Ennek eredményeképpen szinte kivétel nélkül mindig elindul a zsírkiválás. Ideális esetben elegendő időt eltöltve a hűtőcsatornában a termék azonnal csomagolható, s hűtött körülmények között tárolva a káros folyamatok megállíthatók.
- **Utótemperálás (utókristályosítás):** a frissen előállított terméket 0,5-2 órán keresztül 28-31°C-ra melegítik, utána gyorsan lehűtik. Ezt követően egy stabil gyártmány keletkezik, amely ellenáll a felületi kiszürkülésnek.
- **A termék alakja:** a gyártmány formája befolyásolja a zsírkiválásra való hajlamot. A töltött termékekben a zsírok migrációja által okozott zsír-érés a vékony és kevésbé ellenálló felületeken indul el a leghamarabb.
- **Tejzsír adagolása:** a tejzsír kakaóvaj-kiválást csökkentő hatása nagyszámú, különböző felépítésű trigliceridjeire vezethető vissza, amelyekkel a kakaóvaj nem képez keverékkristályokat. Étsokoládéhoz adagolva már 1%-nyi mennyiségű tejzsír is eredményhez vezet.
- **Speciális zsírok:** a POS-típusú trigliceridekben szegény zsírok stabilabbak a zsírkiválással szemben,  $\beta$ (VI) módosulatot nem képeznek. A töltelékekhez adagolva képesek megakadályozni a migrációs folyamatokat.

- **Trigliceridek:** a szintetikus trigliceridek (BOB, SSS) a kakaóvajnál magasabb olvadásponttal rendelkeznek növelve a csokoládétermékek hőállóképességét. Alkalmazhatók kristályosodás-indítóként és a felületi kiszürkülés gátlására.
- **Emulgeátorok:** megakadályozzák a monotróp  $\beta(V) \rightarrow \beta(VI)$  átalakulást csökkentve a kakaóvaj-érés folyamatát.
- **Mérleghinta-teszt:** ez a kísérlet a hosszú ideig tartó tárolási tesztekkel ellentétben gyors információt szolgáltat a termékek felületi zsírkiválással szembeni stabilitásáról. A teszt során a csokoládét periodikusan változó hőmérsékletnek (pl.: 12 óránként váltva 20°C/30°C) teszik ki, s vizsgálják a felületen végbemenő változásokat. A teszt azonban – főként új fejlesztésű termékeknél – nem helyettesítheti a standard tárolási teszteket, hiszen a termék ebben az esetben nem valóságos változásokon megy keresztül.

## 2.6 A csokoládé reológiája

**A reológia** a deformációkkal (alakváltozásokkal), a deformációk és az őket kiváltó erők (feszültségek) kapcsolatrendszerével, ezek idő-, hőmérséklet- és nyomásfüggésével foglalkozik. Tárgyát a feldolgozás előtt, alatt és után lévő anyagok képezik, vizsgálja azok szilárd-ságtani tulajdonságait, meghatározza a termékek szerkezetét, jellemzi a feldolgozás okozta változásokat utalva az anyagok minőségére (LÁSZLÓ 1996).

A **reometria** olyan műszeres mérési módszer, amelynek során a **reométer** az anyagi rendszerre vonatkozóan adatot szolgáltat az előidézett deformációs illetőleg nyírósebesség, és a keletkező nyírófeszültség viszonyáról (egypontos mérés). A különböző nyírósebesség-értékeken végzett mérések eredményeképpen megkapjuk a nyírófeszültség-nyírósebesség függvényt, azaz a *folyásgörbét*. Az egypontos mérés (egy nyírósebesség-értéken végzett mérés) ugyan gyors tájékoztatást nyújt az adott anyag folyási jellemzőiről, de a nem-newtoni (nem ideális) folyadékok esetén korántsem olyan informatív, mint a teljes folyásgörbe meghatározása (GASZTONYI és BOGDÁN 1985, SCHRAMM 1995).

A folyásgörbe felvételekor keletkezett adatmennyiség kiértékelése azonban nehézkes, a minőség és a további feldolgozhatóság gyors megítélése szempontjából lassú, ezért a folyásgörbét könnyebben kezelhető matematikai függvényekkel, *modellekkel* ábrázoljuk. FRANKE és TSCHEUSCHNER (1995) szerint a reológia egyik fő feladata az anyagi rendszerekre olyan modelleket létrehozni, amelyek a méréssel meghatározott folyásgörbét lehetőség szerint leginkább egzaktul írják le.

A modellezés kétféleképpen történhet:



1. grafikus függvény-illesztéssel,
2. a fő reológiai jellemzők (pl. folyáshatár, nullviszkozitás, egyensúlyi viszkozitás), mint *modellparaméterek* meghatározásával. A modellparamétereket a névleges, előírt értékekkel összehasonlítva a termék minősége viszonylag könnyen megítélhető.

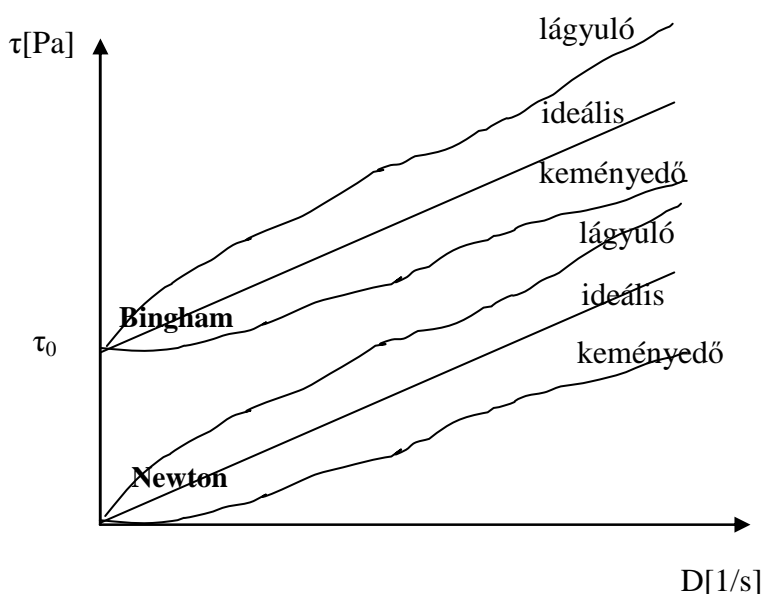
A különféle modellek nem egyformán alkalmasak az adott anyag reológiai jellemzésére, azok jóságát a modellparaméterek és a mért értékek összevetéséből származó eltérés mutatja meg.

A **csokoládé** olyan többfázisú kolloid rendszer, amelynek diszperziós közege a hőmérséklettől függően szilárd vagy folyékony halmazállapotú kakaóvaj. Ebben a fázisban vannak elosztatva a kakaóbab és a tejpor szilárd alkotórészei, a finoman aprított szacharózkristályok, valamint kevés víz is. Reológiai jellemzőinek pontos ismerete, azok változásának a kutatása elengedhetetlen fontosságú a gyártás minden egyes szakaszában (WEIPERT et al. 1993).

### 2.6.1 A csokoládémassza folyási jellemzői

#### A.) REOLÓGIAI RENDSZEREK

A különböző Newton - és Bingham - fluidumok folyásgörbéit az **5. ábra** mutatja be, amely a nyírósebesség függvényében ábrázolja a nyírófeszültséget.



**5. ábra. Newton - és a Bingham - fluidumok folyásgörbéi**

A newtoni - fluidumok folyásgörbéje az origóból  $[0;0]$ , a Bingham - fluidumok folyásgörbéje a folyáshatárból  $[0;\tau_0]$  indul. A nyírófeszültség egyenlete a következőképpen alakul:

$$\tau = \tau_0 + \eta \cdot D \quad (2.1)$$

ahol:

$\tau [Pa]$	nyírófeszültség,
$\tau_0 [Pa]$	folyáshatár,
$\eta [Pa \cdot s]$	dinamikai viszkozitási együttható,
$D [1/s]$	deformációs vagy nyírósebesség (az anyag folyása

következtében – az áramlási tér helykoordinátái szerint – a folyadékrétegek közötti sebességkülönbség vagy sebesség-gradiens).

$$D = \frac{\partial v_y}{\partial x} \quad \text{sebesség-gradiens} \quad (2.2)$$

A Newton-fluidumokra általánosságban felírható:

$$\tau_0 = 0$$

Az ideális newtoni folyadékok viszkozitása egy adott hőmérsékleten állandó ( $\eta = \text{áll.}$ ), folyásuk a deformációs erő fellépésével azonnal megindul. Ha ábrázoljuk a deformációs sebességet a nyírófeszültség függvényében, ún. reogramot kapunk (**5. ábra**). Látható, hogy az ideális folyadékok reogramja lineáris, monoton emelkedő, és az origóból indul.

A *newtoni folyadékok viszkozitása* tehát a következő *egyenlettel* írható le:

$$\eta = \frac{\tau}{D} \quad (2.3)$$

A *viszkózus tulajdonságot* a reológia *folyásnak* nevezi. A folyadék viszkozitása tulajdonképpen az anyag belső ellenállása, amit le kell győzni ahhoz, hogy a folyadékot mozgásba hozzuk. A viszkozitás tehát anyagi jellemző, a molekulák egymáshoz viszonyított mozgási szabadságát fejezi ki (TSCHEUSCHNER 1989).

Reológiai tulajdonságait tekintve ideális folyadéknak tekintendő a **kakaóvaj** olvadéka.

Ha  $\eta = \eta(D)$ , általánosított Newton-fluidumokról beszélünk.

A Bingham - fluidumok (**5. ábra**) ( $\tau_0 > 0$  és  $\eta = \eta_{pl}$ ) azok a komplex reológiai testek, amelyek mindhárom reológiai alaptulajdonsággal, így elaszticitással, plasztikussággal és viszkózus tulajdonságokkal egyaránt rendelkeznek.

*Rugalmas (elasztikus) alakváltozás:* deformáló erő megszűntekor eltűnik

*Plasztikus alakváltozás:* deformáló erő egy adott értékéig rugalmas az alakváltozás, azt meghaladva folyás lép fel

*Folyás (viszkozitás):* deformáló erő megszűntekor is megmarad az alakváltozás

Az ideális Bingham - fluidumok (**5. ábra**) esetén ( $\eta_{pl} = \text{áll.}$ ) a reogram szintén lineáris és monoton növekvő, de  $\tau_0$  határfeszültséggel el van tolva. Az egyenes kiindulópontja a folyáshatárnak felel meg.

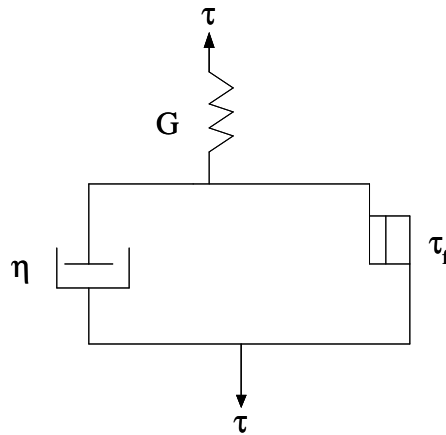
A *Bingham - test reológiai egyenlete* azt fejezi ki, hogy viszonylag kis feszültség esetében az anyag szilárd testként, rugalmasan viselkedik [elaszticitás], a feszültség növelésével elérkezünk a folyáshatárig [plaszticitás], ezt meghaladva folyási jelenség [viszkózitás] lép fel:

$$\eta_{pl} = \frac{(\tau - \tau_0)}{D} \text{ illetve } D = \frac{dv_x}{dy} \quad (2.4)$$

Ebből a nyírófeszültség:

$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \cdot D \quad (2.5)$$

Az egyenletben szereplő  $\eta_{pl}$  plasztikus viszkózitás anyagi jellemző, de nem állandó. A Bingham - modell MACSIHIN és MACSIHIN (1987, **6. ábra**) leírása szerint a  $G$  modulusú Hooke - elemből, az  $\eta$  viszkózitású Newton - elemből és a  $\tau_f$  folyáshatárú Saint-Venant - elemből áll. Az utóbbi kettő párhuzamosan, s ezek együtt az elsővel sorosan vannak kapcsolva.



**6. ábra.** A Bingham - test reológiai modellje (MACSIHIN és MACSIHIN 1987)

A pszeudoplasztikus (kváziplasztikus) folyadékok vagy általánosított Bingham - testek reogramja (**5. ábra**) szintén a folyáshatárból indul, azonban nem lineáris alakú ( $\eta_{pl} = \eta_{pl}(D)$ ). A folyáshatár elérése után az anyagszerkezet nem „törik meg” azonnal, hanem a sebesség-gradiens növekedésével fokozatosan változik.

Erre a folyástípusra Casson is vezetett le egyenletet:

$$\tau^{1/2} = \tau_{Ca}^{1/2} + (\eta_{Ca} \cdot \dot{\gamma})^{1/2} \quad (2.6)$$

ahol:

$\tau_{Ca} [Pa]$	Casson - féle határfeszültség,
$\eta_{Ca} [Pa.s]$	Casson - féle plastikus viszkozitás,
$\dot{\gamma} = D [1/s]$	nyírósebesség (nyírási sebesség-gradiens).

Casson feltételezte, hogy a diszperz fázis részecskéi közötti erőhatások következtében az anyagban fonalszerű, hosszú láncok képződnek, amelyek kis deformációs sebességeknél az anyagban egészként mozognak. A sebesség növelésekor a fonalak kis darabokra szakadnak, nagyon nagy sebességeknél pedig teljesen átalakulnak, és a viszkozitás csak a részecskék közötti erőhatások függvénye lesz. Folyáskor a plastikus deformáció és a szerkezeti-viszkozitás - jelleg is jelentkezik. A nyírófeszültséget fokozatosan növelve először rugalmas deformáció lép fel, majd az alsó, a sztatikus folyáshatárt túllépve a viszkozitás csökken, először szerkezeti viszkozitású jelleggel, majd a nyírófeszültség további növekedésével arányosan.

Egy adott nyírósebesség és nyírófeszültség értékpárra meghatározott viszkozitás a *látszólagos viszkozitás* ( $\eta_{app}$ ). A gyakorlatban az egyszerűség kedvéért ezzel jellemzik az anyagokat.

A **csokoládémassza** pseudoplasztikus tulajdonságokat mutat.

MOHOS (2010) szerint  $D$  nyírósebességtől függően mind a *Newton* - mind a *Bingham* - *fluidumok* kétféleképpen viselkednek (**5. ábra**):

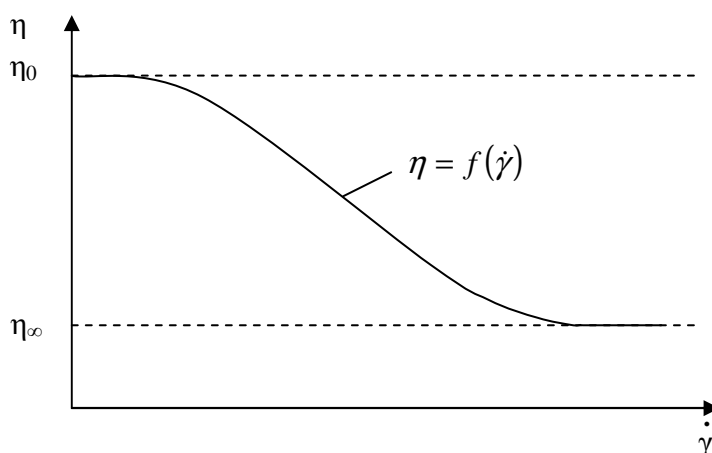
- $\Rightarrow$  ha  $\partial^2 \tau / \partial D^2 < 0$ ; akkor a fluidum lágyuló,
- $\Rightarrow$  ha  $\partial^2 \tau / \partial D^2 > 0$ ; akkor a fluidum keményedő.

## B.) A CSOKOLÁDÉMASSZA REOLÓGIÁJA

A csokoládémassza teljesen olvadt állapotban (35°C felett) egy erősen koncentrált szuszpenzió, diszperziós közegét a folytonos fluid zsírfázis, a kakaóvaj képezi, diszpergált fázisait pedig a különböző összetevők alkotják. Bonyolultsága és a technológiai hatásokkal szembeni érzékenysége miatt a csokoládémassza reológiai viselkedését egyetlen összefüggéssel eddig nem sikerült jellemezni.

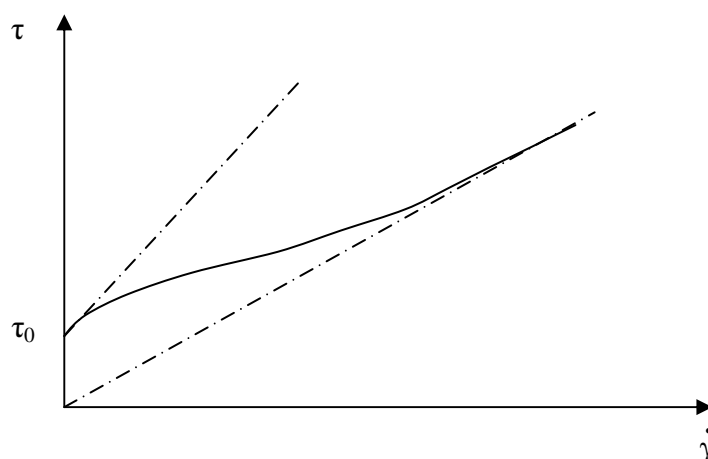
Folyási jellemzőit az alábbi pontokban foglalja össze TSCHEUSCHNER (1996):

- viszkozitása nagyobb, mint a tiszta kakaóvajé,
- viszkozitása nem konstans, hanem a nyírósebesség függvénye (**7. ábra**),



**7. ábra. A csokoládémassza viszkozitás-görbéje (TSCHEUSCHNER 1996)**

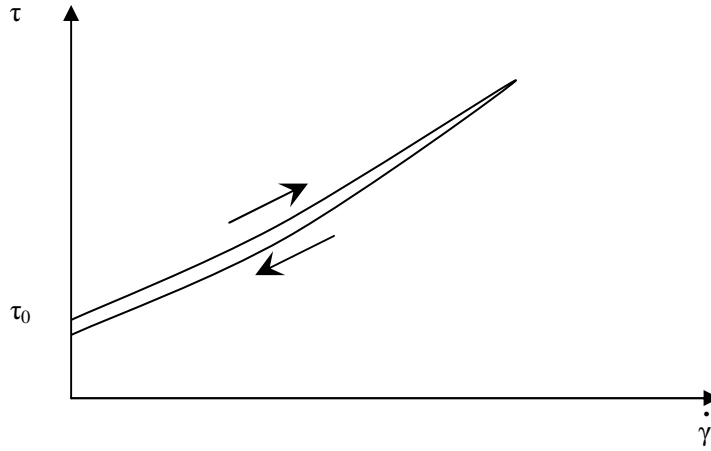
- folyása nem indul meg bármely kicsi nyírófeszültség hatására, csak ha az a határfeszültséget meghaladja,
- a folyáshatárt ( $\tau_0$ ) átlépve a csokoládémassza kezdeti viszkozitása a legmagasabb,



**8. ábra. A csokoládémassza folyásgörbéje (TSCHEUSCHNER 1996)**

- a nyírósebesség emelkedésével a viszkozitás csökken, majd magas  $\dot{\gamma}$  értékeknél elér egy konstans értéket, az egyensúlyi viszkozitást ( $\eta_\infty$ ),
- a folyásgörbe emelkedése kezdetben a legnagyobb (magas viszkozitás), majd a nyírósebesség növekedésével csökken a meredekség (8. ábra),
- a nyírósebesség emelésével a növekvő nyírófeszültség következtében a massa szerkezete leépül, a teljes mértékű szerkezeti leépülés az egyensúlyi viszkozitást elérve következik be,
- a szerkezeti leépülés reverzibilis, a nyírósebesség csökkentésével a massa szerkezete bizonyos időeltolódással ismét felépül, amely abban nyilvánul meg, hogy a nyírósebes-

ség emelkedő fázisában ugyanazon értéknél magasabb a massa viszkozitása, mint a csökkenő fázisban. Ez a tixotropia jelensége (**9. ábra**).



**9. ábra.** Folyásgörbe a tixotrópikus jelenséggel (TSCHEUSCHNER 1996)

A *reológiai jellemzők* függvénykapcsolatainak *matematikai leírására* a tudományos kutatások eredményeképpen különböző modellek születtek, amelyek többé-kevésbé jól közelítik a folyékony csokoládé folyási paramétereit (TSCHEUSCHNER 1991, FINKE 1991).

▪ Casson - modell	$\tau^{1/2} = \tau_{Ca}^{1/2} + (\eta_{Ca} \cdot \dot{\gamma})^{1/2}$	(2.7)
-------------------	---	-------

▪ Heinz - modell	$\tau^{2/3} = \tau_{HE}^{2/3} + (\eta_{HE} \cdot \dot{\gamma})^{2/3}$	(2.8)
------------------	---	-------

▪ Általánosított Casson - modell	$\tau^{1/m} = \tau_C^{1/m} + (\eta_C \cdot \dot{\gamma})^{1/m}$	(2.9)
----------------------------------	---	-------

▪ Tscheuschner - modell	$\tau = \eta_{\infty} \cdot \dot{\gamma} + \tau_0 + \eta_{str}(\dot{\gamma}_1) \cdot [\dot{\gamma}/\dot{\gamma}_1]^{-n \cdot \dot{\gamma}}$	(2.10)
-------------------------	---	--------

$$\eta_{eff}(\dot{\gamma}) = \eta_{\infty} + \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} + \eta_{str}(\dot{\gamma}_1) \cdot [\dot{\gamma}/\dot{\gamma}_1]^{-n} \quad (2.11)$$

ahol:

$\tau_0 [Pa]$  valódi folyáshatár,

$\eta_{\infty} [Pa.s]$  egyensúlyi viszkozitás,

$\eta_{str}(\dot{\gamma}_1) [Pa.s]$  szerkezeti viszkozitás  $\dot{\gamma}_1 = 1s^{-1}$ -nál.

A Tscheuschner - modellt az első három hibáját kiküszöbölendő hozták létre, ugyanis azok nem veszik figyelembe a valódi (méréssel meghatározott) fizikai jellemzőket (valódi folyáshatár  $\tau_0$ , egyensúlyi viszkozitás  $\eta_{\infty}$ ), és viszonylag korlátozott sebesség-gradiens - tartományban hasz-

nálhatók. Kísérleti úton különböző hőmérsékleti értékeken étcsokoládéra modellparamétereket határoztak meg, amelyeket a **4. táblázat** tartalmaz.

**4. táblázat. Étcsokoládé reológiai modellparaméterei különböző hőmérsékleteken (TSCHEUSCHNER 1991)**

Modell	40°C	45°C	50°C
<b>Casson</b>			
$\eta_{Ca}$	2,56	1,96	1,49
$\tau_{Ca}$	28,61	27,73	27,74
$n = 0,5$			
<b>Heinz</b>			
$\eta_{HE}$	3,38	2,61	2,04
$\tau_{HE}$	39,63	37,90	36,79
$n = 0,666$			
<b>Alt. Casson</b>			
$\eta_c$	3,29	2,63	2,11
$\tau_c$	38,17	38,39	38,04
$n$	0,6422	0,6750	0,6922
<b>Tscheuschner</b>			
$\eta_{\infty}$	4,77	3,26	2,30
$\tau_0$	4,82	4,09	4,21
$\eta_{str}(Y_1)$	45,22	40,92	38,79
$n$	0,916	0,902	0,867

A csokoládé *összetevőinek* a reológiai tulajdonságokra gyakorolt *hatását* vizsgálta TSCHEUSCHNER (1996) és FINKE (1991). A vizsgálathoz lépcsről lépésre komponenseiből állították össze a masszát különböző szuszpenziókat alkotva, majd azok segítségével nyomon követték a változásokat.

A lényegesebb megállapítások:

- a szilárd alkotók közül a kakaórészecskék befolyásolják leginkább a massa folyási jellemzőit, ezt követően a cukorkristályok, legkevésbé pedig a tejpor,
- a cukor aprítottsági foka is mérvadó, szélsőségesen finom (<5 $\mu$ m) vagy durva (>30 $\mu$ m) szemcseméret erőteljesen emeli a viszkozitást és a folyáshatárt,
- a csokoládé magasabb zsírtartalma (kakaóvaj, tejzsír) csökkenti a viszkozitást és a folyáshatárt,

- a lecitintartalom (felületaktív segédanyag) kb. 0,4-0,5%-ig csökkenti a viszkozitást, e felett azonban növeli, mert a felesleges mennyiség – szabad, szilárd részecskék már nem lévén – egymáshoz kapcsolódva micellákat képeznek,
- 0,8 %-nál kisebb víztartalom nem fejt ki érdemleges hatást a viszkozításra, ennél nagyobb érték azonban nagyságrendekkel növeli azt.

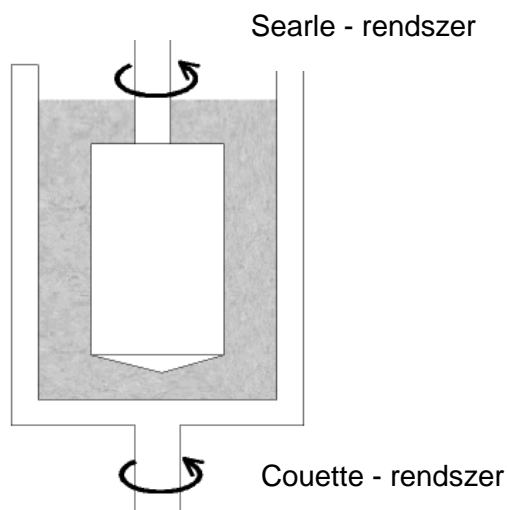
Svájci tudósok (ATTAIE et al. 2003) tizenkét fajta tejpor csokoládémassza fizikai tulajdonságaira gyakorolt hatását vizsgálták a gyártás egyes lépéseit elemezve. Megállapították, hogy a tejporkok szabad zsírtartalma befolyásolja leginkább a reológiai jellemzőket, más jellemzők, mint a mikrostruktúra és a szemcse alakja, kevésbé meghatározók.

SCHANTZ és társai (2001a-b) ipari gyakorlatban alkalmazott emulgeátorokat (lecitin, poliglicerol poliricinoleát – PGPR, foszforsav ammónium sója – YN, mono- és digliceridek – MN, szorbitán-trisztearát – STS) adagoltak folyékony csokoládémasszákhöz, és az így előidézett reológiai változásokat tanulmányozták. Megállapították, hogy a különböző gyártóktól származó azonos emulgeáló szerek gyakran nem egyforma hatással bírnak, és meghatározták a különböző emulgeátorok optimális hatást előidéző koncentráció-tartományát.

### C.) REOMETRIAI MÓDSZEREK

#### Rotációs viszkoziméter koaxiális (közös tengelyű) mérőhengerekkel

A csokoládémassza reológiai (folyási és plasztikus) viselkedésének leírására az ipari gyakorlatban a Casson - modell terjedt el. A Casson - viszkozitás és a Casson - folyáshatár grafikus számolási módszereit különböző szabványok (MSZ-08-1854-84 1984, OICCC 1973) részletezik, ezeket időközben visszavonták.



10. ábra. A rotációs viszkoziméter közös tengelyű mérőberendezése



A mérés lényege, hogy a 40°C-on temperált vizsgálandó anyagba forgó testet merítünk, és mérjük az anyag viszkozitásából eredően a forgó testre gyakorolt ellenállást (nyomaték). A forgató nyomaték azonos körülményeket biztosítva a forgó test fordulatszámának függvénye. Kis részméretek alkalmazva elérhető, hogy az anyag folyása csaknem tiszta nyíró-igénybevétel hatására menjen végbe.

A rotációs viszkoziméter koaxiális mérőhengerű rendszere kétfajta geometriával használatos attól függően, hogy a berendezés a mintát tartalmazó hengert (Couette - rendszer), vagy a mintába merülő próbatestet (Searle - rendszer) hajtja meg (**10. ábra**).

A viszkozitás a következő módon számolható (HAAKE 1993) a nyírósebességből ( $\dot{\gamma}$ ) és a nyírófeszültségből ( $\tau$ ):

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.12)$$

A mért forgatónyomaték ( $M_d$ ) és fordulatszám ( $n$ ) értékekből a geometriai jellemzők figyelembevételével:

$$\tau = f \cdot M_d \text{ és } \dot{\gamma} = M \cdot n \quad (2.13)$$

Ebből a viszkozitás értéke:

$$\eta = \frac{f \cdot M_d}{M \cdot n} \quad (2.14)$$

A geometriai paraméterekből (készülékállandók) számolva:

$$f = \frac{0,01}{2\pi \cdot L \cdot R_i^2} \text{ és } M = \frac{\pi}{15} \cdot \frac{R_a^2}{R_a^2 - R_i^2} \quad (2.15)$$

ahol:

$R_i [m]$	forghenger sugara,
$R_a [m]$	mérőhenger sugara,
$L [m]$	forghenger hossza,
$M_d [N.cm]$	forгатónyomaték,
$n [1/min]$	fordulatszám.

A Casson - modell a csokoládémassza reológiai jellemzőinek leírására a  $\dot{\gamma} = 5 - 60 s^{-1}$  nyírósebesség tartományban alkalmas, hiszen az eltérés (hiba) a mért és a modellértékek között  $\leq 3\%$ .

Azonban a csokoládégyártás folyamatában vannak olyan lépések (adagolás, formázás, bevonómasszával való bevonás), ahol a nyírási sebességkülönbség rendkívül alacsony értékek között ( $\dot{\gamma} = 0,1 - 5 s^{-1}$ ) mozog. E tartományban a cassoni módszer hibája mintegy 5-30%, alkalmatlanná téve azt a csokoládé folyási tulajdonságainak komplex jellemzésére (TSCHEUSCHNER 1996).

A modell alkalmazásával kapcsolatosan BECKETT (2000) a legfontosabb előnynek tekinti, hogy mindössze két paraméter alkalmazásával írja le a csokoládé viszkozitását. Ez a tény rendkívül hasznos egy gyári szituációban, ahol többnyire ugyanazzal a viszkoziméterrel, korlátozott számú csokoládé-választékon végzik a méréseket. Amennyiben mindkét Casson jellemző megfelelő, lehetővé válik a minőség magas szinten tartása a folyási tulajdonságok szabályozásán keresztül. Ha azonban valamelyik a kettő közül eltér a névleges értéktől, a modell jelzi a hibát, mert a technológiai paraméterek helytelen beállítása azonnal megmutatkozik a reológiai tulajdonságokban. A Casson-modell azonban nem alkalmas két vagy több laboratórium viszkozitás-méréseinek összehasonlítására, mert túl magas az eredmények szórása.

A rotációs viszkoziméter mérőberendezése lehet még a kúp-lap és a párhuzamos lap (lap-lap) rendszer, ezekről későbbi fejezetekben esik szó.

### **Vibrációs reometria**

A viszkoelasztikus és plasztóelasztikus élelmiszereken végzett „hagyományos szerkezetvizsgálatok” (pl. penetrometria) adott deformációval irreverzibilis alakváltozást idéznek elő a vizsgált mintán. Habár a vizsgálat információértéke a minta pillanatnyi reológiai állapotára vonatkozóan rendkívül magas, mégsem nyújt elfogadható értékelést a vizsgált anyagot illetően. Hátránya abban rejlik, hogy az élelmiszerek egy része nem homogén, ezért a populáció egyedi mintái közötti szórás akár 20-30%-ot is elérhet, a minták pedig többnyire egyszeri mérésre alkalmasak. Az inhomogenitás mellett az időtényező is negatívan befolyásolja az adott tételen végzett vizsgálat reprodukálhatóságát.

A vibrációs reometria az elasztikus szakaszban ad információt az élelmiszerek szerkezeti jellemzőiről. A vizsgálat során kis amplitúdójú rezgő igénybevétellel reverzibilis változást idézünk elő az anyagban egyazon minta többszöri felhasználásával az inhomogenitás és az időtényező kiküszöbölésével. Hátránya, hogy a nagyon kicsi deformációk miatt nem az egész reológiai viselkedésről kaphatunk képet, csak egy részről, azonban az anyagban technológiai vagy tárolási hatásra végbe menő szerkezeti változásokat így is kiválóan leírja.

Péksütemények száradás és öregedés következtében fellépő pórusvastagság-változását vizsgálták BINDRICH és munkatársai (1986) vibrációs reométerrel 33 órás szabályozott tárolás során.

Eredményeik szerint a változás leírására meghatározott paraméter, a rugóállandó minden egyes vizsgált fajtánál a tárolási idő függvényében megközelítően lineárisan nőtt jól leírva az adott paraméter változását.

IRMISCH és LINKE (1995) szilárd kakaóvajon és különböző fajta szilárd csokoládékon (tejcsokoládé, étcsokoládé, fehércsokoládé) végeztek DMA (dinamikus mechanikai analízis) vizsgálatokat. A mérések során a szilárd csokoládékból hengeres próbatestet munkáltak ki, amelyet két plánparallel (párhuzamos lapú) nyomófej közé helyeztek, ahol állandó hőmérsékleten és emelkedő frekvenciával a felső nyomófej felől statikus, az alsó felől dinamikus nyomófeszültség alá helyezték a mintát. A mérés során rögzítették a minta kitérésének amplitúdóját, és gerjesztéshez képest fellépő fáziseltolódást. Tisztán elasztikus rendszerek esetén a minta válasza mindig fázisban van (tárolási modulus), tisztán viszkózus rendszereknél a gerjesztés és a válasz soha nincsenek fázisban (vesztési modulus). Megállapították, hogy a csokoládé és a kakaóvaj esetében is a DMA vizsgálattal az összetétel és kristályszerkezet függvényében releváns és reprodukálható mérési jellemzők születnek, amelyekkel azok fizikai jellemzőiről – például tárolási stabilitás – kaphatunk információt.

SCHANTZ és LINKE (2001) különböző emulgeátorok alkalmazásának a csokoládé megszilárdulására és kontrakciójára gyakorolt hatását vizsgálták oszcillációs mérési módszerrel. A vizsgálathoz kombinált rotációs/oszcillációs reométert alkalmaztak párhuzamos lap mérőfejjel. A mérési módszer kiválasztásnál többek között fontos szempont volt, hogy a mérendő mintát a mérés során csekély igénybevétel érje. Erre alkalmas az oszcillációs reométer, amely a csokoládé reológiai paramétereit a lineáris viszkoelasztikus szakaszban határozza meg. A mérési paraméterek megfelelő beállítását előkísérletek előzték meg. Eredményeik alapján kijelentették, hogy az oszcillációs reometria alkalmas az előkristályosított csokoládémassza megszilárdulásának és kontrakciójának nyomon-követésére.

### **2.6.2 A szilárd csokoládé állományvizsgálata**

Az élelmiszer-előállítók nagy hangsúlyt fektetnek a termékek minőségének érzékszervi megítélésére, mint az íz, illat, szerkezet, szín, forma, makrostruktúra meghatározására. A szerkezet vagy konzisztencia az élelmiszerek minőségében legtöbbször ugyanolyan fontos, mint az íz és az illat. A konzisztenciára vonatkozó tulajdonságok meghatározhatók érzékszervi, illetve műszeres vizsgálatokkal. Ha e két különböző módon meghatározott adatok között összefüggést találunk, lehetőségünk van a műszeres szerkezet-meghatározást, mint objektív mérési módszert megbízhatóan alkalmazni. A két vizsgálat párhuzamba állításához szükséges, hogy azonos fizikai mennyiségeket azonos mérési körülmények között hasonlítsunk össze.

Habár a konzisztencia jelentősen befolyásolja a csokoládétermék minőségét, sokáig gyerekcipőben járt a tudománynak ez az ága. Elsőként keménységvizsgálatokat végeztek szilárd kakaóvajon

és csokoládén, később már penetrometriás szerkezet-meghatározások történtek, ahol vizsgálták a hőmérsékletváltozás hatását a textúrára. A legutóbbi kutatások összefüggést találtak a csokoládé állományjellemzői, valamint a felhasznált alapanyagok, illetve a recept, a gyártási paraméterek és a tárolási körülmények között. A késztermék szerkezeti karakterisztikájának pontos meghatározása előfeltétele a megfelelő alapanyagok kiválasztásának és a gyártási folyamatjellemzők definiálásának.

A szilárd csokoládé folytonos, megszilárdult zsírfázisból áll, ebben helyezkednek el diszpergált állapotban a cukorkristályok, a kakaómassza és a tejpor szilárd részecskéi, továbbá bizonyos esetekben a légbuborékok. Reológiai szempontból nagyon bonyolult plasztóelasztikus testként viselkedik. A zsírfázis túlnyomóan kristályos szerkezetű, összetétele nagyban befolyásolja a konzisztencia tulajdonságokat, mint a formatartó képességet, rugalmasságot, szilárdságot, törést, felületi fényt és olvadási jellemzőket. A felületaktív anyagok, mint a lecitin, a víz, az aromaanyagok és savak körülveszik a diszperziós fázis szemcséit, vagy a folytonos és a diszperziós fázis határfelületén tárolódnak, és főként a szilárd szemcsék aggregációjáért felelősek az előállítási folyamat során. Az egyes fázisoknak egymáshoz való viszonya, és fizikai, valamint fizikokémiai tulajdonságai határozzák meg döntően a csokoládé műszeresen mérhető és érzékszervekkel érzékelhető szerkezeti jellemzőit.

### Szerkezetvizsgálati módszerek

A penetrometria a különböző élelmiszeripari termékek állományának vizsgálatára szolgáló módszer. A művelet lényege, hogy a vizsgálandó anyagba meghatározott tömegű, általában kúp, henger, félgömb vagy korong alakú test hatol be állandó sebességgel. A mérőfej a vizsgált anyag deformációját okozza, amely során mérjük a behatoláshoz szükséges erőt vagy az anyagban ébredő feszültséget. A mért terhelő erőt a deformáció illetve a behatolási mélység függvényében ábrázolva megkapjuk a vizsgált anyag reogramját (deformációs jelleggörbe). A deformációs jelleggörbe alakja függ a deformáló test alakjától és jellemző az adott mintára.

Csokoládé keménységének vizsgálatára többek között nyomó- és nyíróteszteket végeznek. A nyomóteszt során a csokoládémintába meghatározott paraméterek között kúp alakú mérőfejjel hatolnak be, és mérik a deformációs erő legnagyobb értékét. A nyíróteszt alkalmával a csokoládén okozott deformáció a minta töréséig vezet, és meghatározzák az ehhez szükséges maximális deformációs erőt.

A csokoládé szerkezetvizsgálatainak terén úttörő munkát végezett TSCHEUSCHNER és MARKOV (1986, 1986, 1987, 1988, 1991), akik célul tűzték ki a konzisztencia-paraméterek mű-

szerek segítségével történő, reprodukálható meghatározását. Emellett kutatták a jellemzőket befolyásoló faktorokat (receptúra, technológiai paraméterek), és összefüggést kerestek az érzékszervi és műszeres úton meghatározható szerkezeti karakterisztika között. Ezek ismeretében fennáll ugyanis a lehetőség a késztermék minőségének hatékonyabb vizsgálatára, valamint ezzel összefüggésben a recept és a gyártási folyamat optimalizására. Az állományjellemzők közül vizsgálták például a harapási szilárdságot és az olvadási tulajdonságot.

A *harapási szilárdság* meghatározását összehasonlítóképpen kétféle módszerrel, egytengelyű nyomó igénybevétellel (kompressziós teszt) és nyíróterheléssel végezték. Tapasztalataik szerint a kompressziós teszt az adatok reprodukálhatósága és a szolgáltatott információmennyiség szempontjából a harapási szilárdság meghatározására alkalmasabb mérési módszer. A kompressziós teszt végzésekor egy szilárdságvizsgáló eszköz használtak, amelynek során a henger alakú csokoládé próbatestet két plánpárhuzamos hengeres formájú mérőlap közé szorították, és mérték a kompresszió során a minta töréséhez szükséges maximális nyomóerőt. A maximális nyomási feszültség ( $\sigma_{D\max}$ ), mint a harapási szilárdság jellemző értéke a következőképpen számolható:

$$\sigma_{D\max} = \sigma_{Br} = \frac{F_{\max}}{A_0} \quad (2.16)$$

ahol:

$\sigma_{Br} [Pa]$	törési feszültség,
$F_{\max} [N]$	maximális kompressziós (nyomó-) erő,
$A_0 [m^2]$	minta keresztmetszeti felülete.

A kompresszió egyenlete:

$$K = \frac{\Delta h}{h_0} \cdot 100 \quad (2.17)$$

ahol:

$h_0 [m]$	minta kezdeti magassága,
$\Delta h [m]$	minta magasságváltozása.

A nyomási feszültséget vagy nyomási szilárdságot ( $\sigma_D$ ) a kompresszió függvényében ábrázolva, megkapjuk a próbatest harapási szilárdságát.

Az *olvadási tulajdonság* meghatározásánál a kutatók az előző méréssel megegyező geometriájú csokoládéhengert használtak, mérőműszerként egy módosított penetrométer szolgált, amelynek mérőtestje henger alakú, műanyag süllyedő pálca volt. A vizsgálat során a penetrométer  $37 \pm 0,1^\circ C$ -on temperált mérőasztalára helyezték a mintát, amelyet azzal megegyező átmérőjű, hen-

ger formájú süllyedő pálca konstans erővel nyomás alatt tartott. A minta magassága a mérőasztal felől átadott hő következtében az olvadás miatt folyamatosan csökken, amelyet az idő függvényében regisztrál a mérőpálca egy meghatározott időtartam (20s) alatt. Az olvadási tulajdonság mért paramétere az olvadási sebesség ( $v_A$ ), amelyet a következőképpen kapunk:

$$v_A = \frac{h_A}{t} \quad (2.18)$$

ahol:

$$\begin{array}{ll} h_A [m] & \text{olvadási magasságváltozás,} \\ t [s] & \text{olvadás ideje.} \end{array}$$

Az összetevők szerkezetre gyakorolt hatását vizsgálva megállapították, hogy az idegen zsírt nem tartalmazó (standard) étcsokoládé kompressziós szilárdsága a kakaóvaj-tartalom emelésével egy adott értékig (kb. 60%-ig) lineárisan csökken, majd a csökkenés meredeksége kisebb lesz. Ezzel összefüggve az olvadási sebesség szintén kb. 60%-ig emelkedik, ezt követően ez emelkedés mértéke lassul. Méréseik szerint az 5% idegen zsírt tartalmazó étcsokoládé a standard mintához képest jelentősen magasabb nyomási szilárdságot és kompressziós értéket, valamint alacsonyabb olvadási sebességet mutatott.

A technológiai tényezők közül a temperáltság mértékét analizálva kimutatták, hogy a túltemperált csokoládé nyomási szilárdsága nagyobb, olvadási sebesség kisebb, mint a standard módon temperált mintáiéi. Az alultemperált csokoládé ellenkező értékeket mutatott, nyomási szilárdsága jelentősen kisebb, olvadási sebessége nagyobb volt a jól temperált minta megfelelő paramétereinél.

Érzékszervi vizsgálataik során az állományjellemzőket 6 pontos skála alapján – a leginkább jellemzőtől a legkevésbé jellemzőig – értékelték, majd a műszeres vizsgálatok adatait tapasztalati úton szintén 6 egyenlő tartományra osztották. Mind a harapási szilárdságot, mind az olvadási sebességet tekintve jelentős korrelációt állapítottak meg az érzékszervi és a műszeres meghatározás eredményei között.

A penetrométer édesipari alkalmazására nyújt példát DÁVID (1999) kísérlete, aki a marshmallow termékeken végzett terhelőerő-deformációt tanulmányozta SMS (Stable Micro Systems) asztali penetrométer segítségével. Különböző receptúra szerint összeállított termékeket vizsgálva meghatározta az egyes alkotóelemek konzisztenciára gyakorolt hatását, és elemezte a tárolás során száradás miatt bekövetkező keményedés és rugalmasságvesztés folyamatát.

## 2.7 A csokoládé érzékszervi jellemzői

**A<sub>z</sub>**

MSZ 20628/3-86 szabvány *érzékszervi pontozásos minősítő vizsgálatot* határoz meg a következő édesipari termékcsoportha azonos követelményekkel:

*Táblás és apró, tömör csokoládé és nugátszerű termék, ízesített- és dúsított csokoládé, nemes nugát, bevonó csokoládémassza, bevonómassza*

A szabvány a vizsgálandó érzékszervi jellemzőket tulajdonságcsoportokba sorolja, összefoglalja az ezekhez tartozó követelményeket, meghatározza a rájuk adható pontszámot és súlyozó faktort állapít meg (**5. táblázat**).

**5. táblázat. Csokoládék érzékszervi pontozásos minősítő vizsgálata (MSZ 20628/3-86)**

Tulajdonságcsoport	Követelmény	Adandó pontszám	Súlyozó faktor
Alak	Teljes alakú, egyenletes vastagságú táblák, illetve alakzatok legyenek. Sérült, törött ne legyen.	5-1	0,4
Szín, külső	A csokoládé vagy a nugát színe a fajtára jellemző, felülete fényes (a nugáté kevésbé), szürkületstől mentes legyen. A dúsítóanyagnak – a puffasztott magféleségek kivételével – a csokoládé- illetve a nugátmasszával bevontnak kell lennie. A felület sima, lyukacsoktól mentes legyen.	5-0	0,6
Állag	Megfelelően kidolgozott, a szájban könnyen olvadó legyen. Ne legyen csomós, érdes állományú. A dúsítóanyagokon kívül ne tartalmazzon más darabos vagy szemcsés anyagot. 20°C-on roppanva törő legyen.	5-0	1,1
Illat	Finom, a csokoládéra, ill. a nugát fajtájára, ízesítésére jellemző legyen. A zamatosító- és dúsítóanyagok illata kellemesen érződjék, harmonikus összhatású legyen.	5-0	0,7
Íz	Kellemes, csokoládé vagy a nugát fajtájára jellemző legyen. A zamatosító- és dúsítóanyagok íze kellemesen érezhető legyen. Harmonikus össz-zamat hatású legyen.	5-0	1,2

A Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e. V. (DLG) az egyes élelmiszer-csoportokra speciális érzékszervi vizsgálati módszert (DLG - Prüfschema) fejlesztett ki (WEBER és HAUPTMANN 1989). Az érzékszervi vizsgálatokat különböző kategóriákban évente versenyszerűen megrendezik a magukat önként benevező élelmiszer-előállítók termékei között. A legjobb eredményt elért termékeket kitüntetik, és a díjazást a fogyasztók számára közzé teszik. A verseny célja a minőségtudatos termelés, fogyasztás valamint a hazai termékek kereskedelmének támogatása.

Az édesipari termékekre vonatkozó *DLG vizsgálati módszert* cukrászok, szakprofesszorok és gyakorlati szakemberek közreműködésével két év leforgása alatt dolgozták ki. A módszer az 5-pontos értékelő rendszer szerint működik, ahol a termék-tulajdonságokat számba véve négy fő kategóriát állapítottak meg. A kategória pontozása 0-5-ig terjedhet, értékét a kategórián belül legalacsonyabb pontot kapott tulajdonság határozza meg. A kategóriák pontjait súlyozzák, és az összpontszámot a súlyozó faktorok összegével elosztva megkapják a minőségszámot. Egyéb feltételek teljesülése mellett a *minőségszám* besorolása dönti el, hogy az adott termék arany, ezüst vagy bronz fokozatot ért el.

Az *érzékszervi minőség* FLIEDNER, WILHELM (1989) és TSCHEUSCHNER (1992) meghatározása szerint magában foglalja azokat az emberi érzékszervekkel észlelhető termékjellemzőket, amelyek egy ételkészítés elfogadásához vagy elutasításához vezetnek. Az előállítási folyamatok folyamatosan befolyásolják, alakítják azokat, és a fő cél, hogy kivétel nélkül mindegyiket a lehető legjobb értéken őrizzük meg. A **6. táblázat** összefoglalja, hogy a gyártástechnológia egyes lépései mennyire számottevő hatást fejtenek ki a csokoládé fő érzékszervi jellemzőire.

A táblázatból kitűnik, hogy az állományjellemzők változnak a legnagyobb mértékben a termék-előállítás során, de jelentősen módosul az íz és az illat, legkevésbé pedig a szín. Ez utóbbi inkább a receptúra és a nyersanyag-kiválasztás függvénye. Ezek ismerete lehetővé teszi a minőség-ellenőrzési pontok hatékonyabb kiválasztását.

**6. táblázat. A csokoládégyártás technológiai lépéseinek érzékszervi jellemzőkre gyakorolt hatása (TSCHEUSCHNER 1992)**

Folyamat	Hatás mértéke		
	Íz, illat	Állomány	Szín
Tisztítás, hántolás	+	++	
Pörkölés	+++	+	++
Finomaprítás	++	+++	+
Konsolás	+++	+++	+
Temperálás	+	+++	
Formába öntés, adagolás		+++	+
Megszilárdítás	+	+++	+
Tárolás	+	++	+
+ csekély hatás    ++ jelentős hatás    +++ erős hatás			



A németországi Fraunhofer Intézet kutatócsoportja (RIEBLINGER 1998) édesipari termékek aroma és élvezeti értékének meghatározására „aromaszenzorokat” alkalmazott. Ezek az *elektronikus orrok* megfelelő betanítás után illó komponenseket detektálnak és mutatnak ki. Működésüket tekintve két részből állnak, egy detektáló és egy analizáló egységből. Az első egység különböző molekulákra érzékeny, párhuzamosan kapcsolt szenzorokból áll, amelyekben a vizsgált minták illékony szagmolekulái ellenállás-változásokat okoznak. Ezeket egy átalakító elektromos jellé konvertálja, amelyet a rendszerbe beépített számítógép analizál.

A tesztek eredményei azt mutatják, hogy az elektronikus orr képes:

- különbséget tenni a különböző helyről származó nyers kakaóbab minták között,
- azonosítani az ismert kakaófajták pörköltiségi fokát,
- étcsokoládé- és tejszokoládé-fajtákat az alapanyagok, pörköltiségi és konsolási fok alapján megkülönböztetni.

## 2.8 A nagy hidrosztatikus nyomású technológia (HP)

**A** nagy hidrosztatikai nyomást főként gyümölcs- és a zöldségtermékek kíméletes tartósítására (pasztörözés), hústermékek puhítására, tejipari tartósításra, nagynyomású fagyasztásra és felengedtetésre alkalmazzák. A kezelés során az élelmiszereket 100-900 MPa közötti hidrosztatikus nyomásnak teszik ki, amelynek során a nyomás minden irányban akadálytalanul és egységesen halad át a közvetítő közegen. Emiatt a hatása független a termék méretétől és geometriájától. A kíméletes technológiák közé sorolják, mert alkalmazásával – a hőkezeléssel szemben – az élelmiszer tovább megőrzi frissességét, értékes vitamintartalma kisebb mértékben csökken, és kedvező érzékszervi tulajdonságait jobban megtartja (HARTYÁNI és társai 2007).

A nagynyomású berendezés vezető gyártói a japánok. A rendszer részét képezi a nyomástartó edény, a nyomást létrehozó egység, az anyagmozgató rendszer és a hőmérsékletszabályozó eszköz.

A nagy nyomás létrehozható (GUSTAVO et al. 1998)

- *közvetlen* módon, ahol a közvetítő közeget dugattyúval ellátott nagy nyomású szivattyú segítségével helyezik nyomás alá közvetlenül a nyomástartó edényben,
- *közvetett* módon, ahol egy nyomásfokozó berendezés juttatja el a közvetítő közeget a tároló tartályból a nyomástartó edénybe,
- *közvetítő közeg hevítésével*, ahol a közvetítő közeg fűtés hatására bekövetkező tágulást használják fel a nagy nyomás létrehozására.

Az iparban főként a közvetett módszert alkalmazzák az izosztatikus nyomás létrehozására, a közvetlen módszer ugyan nagyon gyors kompressziót eredményez, de a berendezés – kevésbé stabil

felépítéséből fakadóan – csak pilot plant kísérletek elvégzésére alkalmas. A harmadik módszert akkor használják, ha nyomás- és hőkezelés együttes alkalmazására van szükség.

BUCHHEIM, ABU EL-NOUR (1992) és FREDE, BUCHHEIM (1998) nagy hidrosztatikai nyomás alkalmazásával végeztek kísérleteket tejzsírral és tejzsír-emulzióval. Megállapították, hogy nyomás alatt a zsírok fázisátalakulási (olvadás, szilárdulás) hőmérséklete a normál atmoszférikus nyomáshoz képest 100MPa-onként átlagosan kb. 16°C-kal emelkedik. Ez az egyensúly-eltolódás a Le Chatelier-elvből kifolyólag a zsírok kristályos állapotának folyékonyhoz képest fennálló magasabb sűrűségével magyarázható. A nagynyomású kezelés kompressziós szakasza alatt az adiabatikus munka következtében jelentős felmelegedés, a dekompressziós során pedig lehűlés tapasztalható.

A nagynyomás alá helyezett zsírtartalmú emulziókban a zsírfázis kristályosodása felgyorsul, így bizonyos zsírok esetében olyan hőmérsékletváltozás okozta folyamatok szimulálhatók, amelyek a normál légköri nyomáson a túlzott hőelvonás okozta szerkezetkárosodás nélkül nem mennek végbe.

## 2.9 A szakirodalmi eredmények összefoglalása

A szakirodalomban fellelhető kutatások a csokoládé előállítási folyamatai közül leginkább a konsolás, temperálás és a hűtés során végbemenő változások leírásával foglalkoznak.

KLEINERT (1997) szerint a temperálást, mint előkristályosítási műveletet egymás után többször megismételve (ciklotermikus előkristályosítás) az étcsokoládé hőállóképessége 34-35°C-ra emelhető, a gyártási folyamat eredményeképpen egy keményebb, szilárdabb állományú késztermék születik.

LÖSER és TSCHEUSCHNER (1981) kísérleteikben bizonyították, hogy a helyesen temperált táblás étcsokoládé 5-18°C hőmérsékleten tárolva legalább öt hónapig eltartható anélkül, hogy bekövetkezne a zsírkiválás.

HAUSMANN és társai (1993) a hűtési paramétereknek a késztermék minőségi jellemzőire gyakorolt hatását vizsgálták. Kimondták, hogy a legjobb minőségű csokoládé előállításához az utolsó hűtési szakasz hőmérséklete 10-14°C között legyen. Az érzékszervi bírálók egyértelműen jónak ítélték a 15°C alatti hőmérsékleten kristályosodott minták minőségi jellemzőit, és közepesnek illetve rossznak a 20°C felettiéit.

A csokoládében a gyártást követő tárolás során végbemenő folyamatok jellemzésére is számtalan tanulmány született.

HAUSMANN és társai (1994) vizsgálták a tárolási hőmérséklet és idő hatását étcsokoládé és tejsokoládé fizikai jellemzőire (kristályosodott zsírtartalom, nyomási szilárdság és olvadási magasság). Megállapították, hogy a három hónapos tárolási idő végére a fizikai jellemzők egyike sem ért el konstans értéket, tehát a csokoládében zajló kristályosodási folyamatok nem fejeződtek be. A nyomási szilárdság (keménység) a tárolási idő és hőmérséklet növekedésével nő, míg az olvadási magasság csökken. Az étcsokoládé kritikus tárolási hőmérséklete a 18°C, ennél magasabb hőmérsékleten nagyon hamar minőségromlás következik be.

A tárolás során bekövetkező zsírkiválás folyamatának, okainak és megelőzési lehetőségeinek komoly szakirodalma van. A témakörben számos tanulmányt jelentettek meg ZIEGLER és társai (1995a-b, 1999, 2000, 2003).

A kakaóvaj-alternatívák alkalmazásával kapcsolatban elsősorban az élelmiszerjogi szabályozással, és az alternatív zsírok analitikai kimutathatóságával kapcsolatosan folytattak vizsgálatokat.

FEJŐS és társai (2005) tejsokoládé és kakaóvaj olvadási és kristályosodási viselkedését hasonlították össze többszöri lehűtés és felolvasztás hatására DSC módszerrel. Bizonyították, hogy a csokoládé termofizikai tulajdonságait fő összetevője, a kakaóvaj határozza meg. A statisztikai elemzések során kimutatták, hogy a tejsokoládé olvadási hőmérséklete néhány fokkal alacsonyabb, mint a kakaóvajé, entalpiája pedig azének egyharmada. Ennek oka a csokoládében található egyéb, nem zsír jellegű összetevők jelenléte.

A folyékony csokoládémassza reológiai tulajdonságait részletesen vizsgálta TSCHEUSCHNER (1996). A reológiai jellemzők függvénykapcsolatainak matematikai leírására a tudományos kutatások eredményeképpen különböző modellek születtek, amelyek többé-kevésbé jól közelítik a folyékony csokoládé folyási paramétereit (TSCHEUSCHNER 1991, FINKE 1991).

A csokoládémassza reológiai (folyási és plasztikus) viselkedésének leírására az ipari gyakorlatban a Casson - modell terjedt el. A Casson - viszkozitás és a Casson - folyáshatár grafikus számolási módszereit különböző szabványok (MSZ-08-1854-84 1984, OICCC 1973) részletezik, ez utóbbit időközben felfüggesztették.

A vibrációs reometriát, amely az elasztikus szakaszban ad információt az élelmiszerek szerkezeti jellemzőiről, elsősorban szilárd élelmiszerek szerkezeti tulajdonságainak leírására alkalmazták. IRMISCH és LINKE (1995) szilárd kakaóvajon és különböző fajta szilárd csokoládékon (tejsokoládé, étcsokoládé, fehércsokoládé) végeztek DMA (dinamikus mechanikai analízis) vizsgálata-

tokat. Megállapították, hogy a csokoládé és a kakaóvaj esetében is a DMA vizsgálattal az összetétel és kristályszerkezet függvényében releváns és reprodukálható mérési jellemzők születnek, amelyekkel azok fizikai jellemzőiről – például tárolási stabilitás – kaphatunk információt.

SCHANTZ és LINKE (2001) különböző emulgeátorok alkalmazásának a csokoládé megszilárdulására és kontrakciójára gyakorolt hatását vizsgálták oszcillációs mérési módszerrel. Eredményeik alapján kijelentették, hogy az oszcillációs reometria alkalmas az előkristályosított csokoládé-massza megszilárdulásának és kontrakciójának nyomon-követésére.

A csokoládé szerkezetvizsgálatainak terén úttörő munkát végzett TSCHEUSCHNER (1986, 1991) valamint TSCHEUSCHNER és MARKOV (1986, 1987, 1988), akik célul tűzték ki a konzisztencia-paraméterek műszerek segítségével történő, reprodukálható meghatározását. Emellett kutatták a jellemzőket befolyásoló faktorokat (receptúra, technológiai paraméterek), és összefüggést kerestek az érzékszervi és műszeres úton meghatározható szerkezeti karakterisztika között. Az összetevők szerkezetre gyakorolt hatását vizsgálva megállapították, hogy az idegen zsírt nem tartalmazó (standard) étcsokoládé kompressziós szilárdsága a kakaóvaj-tartalom emelésével egy adott értékig (kb. 60%-ig) lineárisan csökken, majd a csökkenés meredeksége kisebb lesz. Ezzel összefüggésben az olvadási sebesség szintén kb. 60%-ig emelkedik, ezt követően ez emelkedés mértéke lassul. Méréseik szerint az 5% idegen zsírt tartalmazó étcsokoládé a standard mintához képest jelentősen magasabb nyomási szilárdságot és kompressziós értéket, valamint alacsonyabb olvadási sebességet mutatott.

A technológiai tényezők közül a temperáltság mértékét analizálva kimutatták, hogy a túltemperált csokoládé nyomási szilárdsága nagyobb, olvadási sebessége kisebb, mint a standard módon temperált mintáéi. Az alultemperált csokoládé ellenkező értékeket mutatott, nyomási szilárdsága jelentősen kisebb, olvadási sebessége nagyobb volt a jól temperált minta megfelelő paramétereinél.

Az érzékszervi minőség TSCHEUSCHNER (1992) meghatározása szerint magában foglalja azokat az emberi érzékszervekkel észlelhető termékjellemzőket, amelyek egy élelmiszer elfogadásához vagy elutasításához vezetnek. Az előállítási folyamatok folyamatosan befolyásolják, alakítják azokat, és a fő cél, hogy kivétel nélkül mindegyiket a lehető legjobb értéken őrizzük meg. Összefoglalja, hogy a gyártástechnológia egyes lépései mennyire számottevő hatást fejtenek ki a csokoládé fő érzékszervi jellemzőire.

A szakirodalomban nem találtam statisztikai módszerekkel alátámasztott vizsgálatokat arra vonatkozólag, hogy a jogszabályban engedélyezett kakaóvaj-alternatív növényi zsírok a késztermék lényegi összetevőire vonatkoztatott 5%-nyi mennyisége milyen hatással van a folyékony csokolá-

démassza reológiai tulajdonságaira, hogyan befolyásolja a szilárd csokoládé keménységét hosszú ideig folytatott tárolás során, és okoz-e szignifikáns változást a késztermék érzékszervi jellemzőiben.

Az elvégzett tárolási tesztek többnyire néhány hónapos időtartamra terjedtek ki, azonban a töltetlen táblás csokoládé minőség-megőrzési ideje átlagosan egy év.

A csokoládé olvadási tulajdonságát (hőállóképesség) az olvadási sebesség meghatározására vezették vissza, amely a mért olvadási magasság és a közben eltelt idő méréseiből származtatható.

A csokoládémassza reológiai jellemzőinek meghatározására a szabványok által javasolt rotációs reométer koaxiális mérőhengere használatos, ettől eltérő adatot sem a rotációs sem a vibrációs reometriai kutatásokban nem találtam.

A nagy hidrosztatikai nyomású kezelésekről szóló publikált kutatások nem számolnak be csokoládémasszán történt vizsgálatokról.



### 3. CÉLKITŰZÉS

**A** csokoládé előállításához – a szakmai jogi szabályozás szerint a lényegi összetevőket tekintve – legfeljebb 5%-ban alkalmazhatók meghatározott kakaóvaj-egyenértékű növényi zsírok (lásd: 2.4.2 *fejezet*). A kakaóvaj-ekvivalens növényi zsírok jelenléte befolyásolhatja a csokoládémassza folyási jellemzőit, hőállóképességét, keménységét, eltarthatóságát, felületi zsírkiválással szembeni ellenállóképességét és nem utolsósorban az érzékszervi tulajdonságait, kedveltségét. A tárolási körülmények – elsősorban a hőmérséklet – és a tárolási idő meghatározóak a csokoládétermék eltarthatósága szempontjából, amelyre az alternatív zsírok hatással lehetnek. Kutatásaimban a fenti témakörök elemzésén kívül a gyakorlatban jelenleg használt mérési módszerek mellett alternatív megoldások alkalmazási lehetőségeinek vizsgálatával foglalkoztam.

A kakaóvaj-ekvivalensek alkalmazásának és a tárolási hőmérsékletnek a csokoládé reológiai és érzékszervi tulajdonságaira gyakorolt hatásait vizsgálva a következő feladatok megoldását tűztem ki célul:

#### Reológiai vizsgálatok

1. A rotációs reométer párhuzamos lap geometriájának alkalmazhatósága a csokoládémassza folyási jellemzőinek meghatározására
2. Az oszcillációs reométer használata a csokoládémasszák reológiai paramétereinek roncsolásmentes vizsgálatára
3. A kakaóvaj-ekvivalensek hatása a csokoládémassza reológiai tulajdonságaira
4. A csokoládé hőállóképességének leírása matematikai modellel
5. A szilárd csokoládé kakaóvaj-ekvivalensek okozta keménységváltozása
6. A temperáltsági fok, mint gyártástechnológiai paraméter keménységre gyakorolt befolyása

#### Tárolási vizsgálatok

7. A tárolási hőmérséklet-ingadozás és idő hatása a csokoládé keménységére
8. A felületi zsírkiválás megjelenése a tárolási körülmények függvényében

#### Érzékszervi vizsgálatok

9. A kakaóvaj-egyenértékű zsírok hatása a csokoládé kedveltségére és minőségszámára

#### Nagynyomású kezeléssel vizsgálatok

10. A csokoládémassza nagy hidrosztatikai nyomású kezelés következtében végbemenő kristályosodásának elemzése keménységvizsgálaton keresztül





## 4. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

### 4.1 A vizsgált anyagok

#### 4.1.1 A csokoládémasszák összetétele

*A* kísérletekhez tejport és egyéb tejszármazékot nem tartalmazó *étsokoládé-masszát és táblás étsokoládét* állítottam elő, amelyeket a továbbiakban az egyszerűség kedvéért csokoládémasszának és csokoládénak nevezek. Az **ötféle csokoládémassza** elnevezését, összeállításukhoz felhasznált anyagokat és mennyiségeiket a **7. táblázat** tartalmazza.

**7. táblázat. A vizsgált csokoládémasszák mennyiségi és minőségi összetétele**

Alapanyagok	Összetétel		CB - massza	CBE I - massza	CBE II - massza	CBE III - massza	CBI - massza
	%	kg					
Kakaómassza	46	1,38	x	x	x	x	x
Cukor	40	1,20	x	x	x	x	x
Kakaóvaj	14 <sup>4</sup> /9 <sup>5</sup>	0,42 <sup>4</sup> /0,27 <sup>5</sup>	x	x	x	x	x
CBE I - zsír	5	0,15	-	x	-	-	-
CBE II - zsír	5	0,15	-	-	x	-	-
CBE III - zsír	5	0,15	-	-	-	x	-
CBI - zsír	5	0,15	-	-	-	-	x
Lecitin	0,5	0,015	x	x	x	x	x
Vanillin	0,03	0,0009	x	x	x	x	x

A táblázatból látható, hogy az ötféle csokoládémassza közül a CB - massza nem tartalmaz kakaóvaj-egyenértékű zsírt. A CBE I -, CBE II -, CBE III - és CBI - masszák arányaikban kevesebb kakaóvajjal, és a jogszabályoknak megfelelően a fő (lecitint és vanillint nem tekintve) összetevőkre számítva 5%-ban kakaóvaj-egyenértékű és kakaóvaj-javító (CBE és CBI, lásd 2.4.2 fejezet) zsírokat tartalmaznak.

A felhasznált alapanyagok típusát és gyártóját a **8. táblázat** tartalmazza.

<sup>4</sup> Kakaóvaj-egyenértékű zsírt nem tartalmazó csokoládémasszákra

<sup>5</sup> Kakaóvaj-egyenértékű zsírt tartalmazó csokoládémasszákra

8. táblázat. Az alapanyagok típusa és gyártója

Alapanyag	Típus	Gyártó	Alapanyag	Típus	Gyártó
<b>Kakaómassza</b>	Kessko volfett 01013	Kessler & Comp., <i>Bonn</i>	<b>Kakaóvaj</b>	Schokinag Chips, Nyu- gat-afrikai	Schokinag- Schokolade- Industrie, <i>Mannheim</i>
<b>Cukor</b>	Puder- raffinade, fein	Südzucker, <i>Ochsenfurt</i>	<b>CBE I - zsír</b>	Illexao 30-61	Aarhus Oliefabrik, <i>Denmark</i>
<b>Lecitin</b>	Topcithin 200	Degussa Textu- rant System, <i>Hamburg</i>	<b>CBE II - zsír</b>	Caofrio-M	Noblee & Thörl, <i>Hamburg</i>
<b>Vanillin</b>	Tisztaság: ≥ 99%	Carl Roth, <i>Karlsruhe</i>	<b>CBE III - zsír</b>	Akomax R	Karlshamns AB, <i>Sweden</i>
			<b>CBI - zsír</b>	Illexao 30-92	Aarhus Unite, <i>Denmark</i>

A következő adatok (**9. táblázat**) két nyugat-afrikai (Ghána és Elefántcsontpart) kakaóvaj és a kísérletben szereplő CBE (Illexao 30-61) - és CBI (Illexao 30-92) - zsírok gáz-folyadék kromatográfiával (GLC) meghatározott százalékos triglicerid-összetételét mutatják be (YOUNG 1984).

9. táblázat. Zsírok százalékos triglicerid-összetétele

	C <sub>50</sub> (POP)	C <sub>52</sub> (POSt)	C <sub>54</sub> (StOSt)
Kakaóvaj			
Ghána	19,0	47,6	33,4
Elefántcsontpart	19,6	47,0	33,4
CBE - zsír			
Illexao 30-61	44,9	17,8	37,3
CBI - zsír			
Illexao 30-92	2,6	12,5	84,9

A táblázatban szereplő zsírok triglicerid-összetételét összehasonlítva látható, hogy CBE - zsír POP szerkezetű triglicerid-tartalma a legnagyobb, a CBI - zsír pedig StOSt összetételű trigliceridet tartalmaz a legnagyobb arányban. Ezek alapján a CBE - zsír puhább, a CBI - zsír keményebb a másik két típusnál.

#### 4.1.2 A csokoládémasszák előállítása

A csokoládémassza előállításához keverővel ellátott, vízfürdővel temperálható, duplafalú Stephan UMC 12 - típusú főzőkuttert (**11. ábra**) használtam, amelynek hőmérséklete a két fal között cirkuláltatott vízzel szabályozható.

A főzőkutter konsként működve az alapanyagok *keverésére, szuszpendálására, az aprítási folyamatok* elvégzésére és a *konsolás* végrehajtására szolgál. A konsolás, vagy finomítás során a mechanikai behatás következtében a szemcsék csiszolódnak, finomodnak; a termikus hatás miatt pedig eltávozik a víztartalom egy része, kialakulnak az ízanyagok. A gyártás első szakasza a **száraz konsolás**, amelynek során a kakaómassza, a cukor teljes mennyisége, illetve a kakaóvaj és az alternatív zsír egy része kerül a kutterbe. Ebben a szakaszban a kutter levegőző csapján keresztül a vízgőzzel eltávoznak az illékony összetevők, egyes aromakomponensek oxidálódnak, így alakul ki a csokoládé jellegzetesen kesernyés íze. A második szakaszban – **folyékony konsolás** – kerülnek a maradék összetevők a kutterbe.

A masszák előállítását megelőzően több előkísérletre volt szükség, amelyek célja a főzőkutterben végzett konsolási paraméterek (hőmérséklet, időtartam, fordulatszám) meghatározása volt.



#### Az előállítás paraméterei:

Hőmérséklet	60 ± 0,5°C
Fordulatszám	800 1/min
Száraz konsolás	1,5 h
Folyékony konsolás	0,5 h
Konsolás összideje	2,0 h

**11. ábra.** A Stephan UMC 12 - típusú főzőkutter

**A massa előállításának lépései:**

1. A porcelántálakban elhelyezett és alufóliával lefedett szilárd kakaómassza, kakaóvaj, (kakaóvaj-egyenértékű zsír) és lecitin 70°C-on, a folyékony állapot eléréséig történő felolvasztása klímasekrényben
2. A főzőkutter felfűtése 60°C-ra
3. A kívánt hőmérséklet elérését követően az alapanyagok egy részének beadagolása: cukor, kakaómassza, kakaóvaj-mennyiség (és kakaóvaj-egyenértékű zsír mennyiségének) fele
4. A termosztát hőmérsékletének visszaállítása 35°C-ra
5. A főzőkutter bekapcsolása és a motor fordulatszámának beállítása (*száraz konsolás*)
6. A kezdési időponttól számított 1 óra elteltével a levegőző csap elzárása
7. Újabb 0,5 óra elteltét követően a maradék összetevők hozzáadása (*folyékony konsolás*)
8. A kész csokoládémassza kitöltése porcelántálakba, lefedése alufóliával és tárolása hűtött helyen

A konsolás során a hőmérsékletet a főzőkutterben 55-65°C között kell tartani, és a masszát időnként át kell keverni. Amennyiben a massa hőmérséklete a felszabaduló súrlódási hő következtében meghaladja a 62-63°C-ot, a termosztát vizét jéggel kell hűteni.

**4.1.3 A táblás csokoládé előállítása**

A gyártás következő lépéseként az egyes csokoládémasszák *előkristályosítását (temperálását)* AASTED - MIKROWERK AMK 10-típusú, folyamatos működésű temperáló berendezéssel (**12. ábra**) végeztem. A háromszakaszos temperálás célja, hogy a csokoládémasszák zsírtartalma (kakaóvaj és kakaóvaj-ekvivalensek) a megfelelő, stabil módosulatban kristályosodjék.



**12. ábra. Az AASTED-MIKROWERK AMK 10-típusú temperáló berendezés**

A csokoládémasszát szilárd állapotban a berendezés tetején található, keverővel, fűthető talppal ellátott tartályba kell helyezni, amelyből az olvadt massa a forgató rotor segítségével alulról felfelé haladva a három szakaszból (zónából) álló temperáló oszlopba kerül. Az oszlop duplafalú zónái külön-külön hőmérséklet-szabályozottak, beépített ellenállás-hőmérők mérik a fűtő-/hűtővíz és az zónákon áthaladó anyag hőmérsékletét. A temperáló oszlopból a kifolyón keresztül a massa visszajut a tároló tartályba és folytatódik a körfolyamat, vagy a kristályosítási folyamat befejeztével a formákba öntés következik. Az előkristályosítási folyamatot akkor tekinthetjük befejezettnek, amikor a csokoládémasszában elegendő mennyiségű stabil kristály-módosulat képződik.

Az *előkristályosítás jóságának* ellenőrzésére szolgál a csokoládéminta *temperáltsági fokának* megállapítása a *hűlési/kristályosodási görbe* segítségével. A görbe meghatározása a Tempermeter nevű műszerrel (A.E. NIELSEN 1993, KLEINERT 1997) történik, amelynek két fő része a mintatartó és a hőmérséklet-regisztráló egység. A kismennyiségű (kb. 10g) mintát a jó hővezetésű, rézből készült Schukoff-cső (mintatartó) felső részébe adagoljuk, a csövet lezárjuk a tömítő hengerrel, és annak furatán keresztül a minta közepébe helyezzük a hőmérsékletmérő és -regisztráló műszer érzékelőjét.



A mintatartó alsó felét ezután jeges vizet tartalmazó termoszba tesszük, és a regisztráló a csokoládéminta megszilárdulásáig rögzíti és ábrázolja a hőmérséklet-értékeket az eltelt idő függvényében.

Az iparban ma már modernebb Sollich-típusú termométereket (**13. ábra**) használnak, amelyek termo-elektromos hűtőrendszerrel működnek, alkalmazásukhoz nincsen szükség jeges vízre.

**13. ábra. A Sollich-Tempermeter (www.sollich.com)**

A *hűlési görbe* alakját a kristályosodási folyamat során felszabaduló látens hő mennyisége határozza meg, amely a *temperáltsági fok* függvénye. A helyes hűlési görbe kiválasztása tapasztalati úton vagy sablonok segítségével történik.

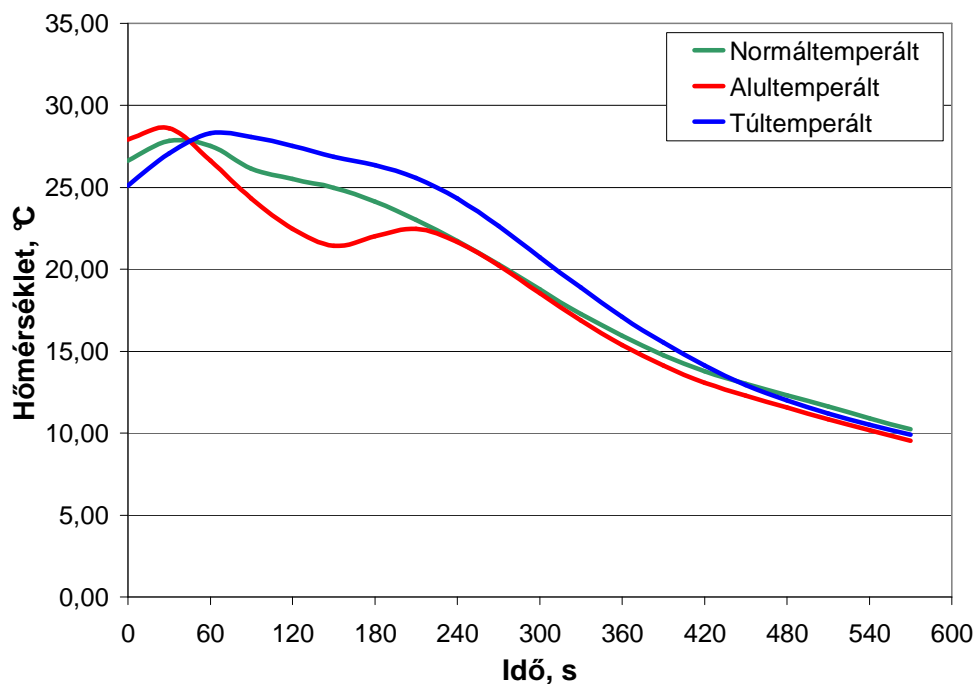
A *normáltemperált* csokoládé hűlési görbéje tipikus, kezdeti és végső szakasza meredek lefutású, a kettő között egy átmeneti egyenes szakaszban („plató”) a hőmérséklet nem változik, amit a még folyékony állapotban maradt zsír felszabaduló kristályosodási hője okoz.

A temperálási folyamat során túl magasra állított zónahőmérséklet-értékek *alultemperáltságot* (*alacsony temperáltsági fokot*) eredményeznek. Az alultemperáltságot a hűlési görbén megfigyelhető kiugró „púp” jellemzi, amelyet a túl kevés szilárd kristálytartalom miatti átkristályosodás következtében fellépő látens hő okoz.

A *túltemperáltság* (*magas temperáltsági fok*) a túl alacsonyra állított zónahőmérséklet eredményeképpen keletkezik. A túltemperált csokoládéminta hűlési görbéje meredek lefutású, nem tartalmaz kiugrást, mert a massa szilárd kristálytartalma túl magas, ezért látens hő nem, vagy elhanyagolható mértékben szabadul fel.

A normál-, alul- vagy túltemperáltságnak is vannak fokozatai. A hűlési görbe alapján megállapított temperáltsági fok ismeretében a temperáló berendezés zónahőmérsékletei korrigálhatók, ezáltal érhető el a megfelelő kristályos állapot. Általánosságban elmondható, hogy a temperálás során beállított legalacsonyabb zónahőmérsékletet emelve vagy csökkentve javíthatunk leggyorsabban a kristályosodási görbe lefutásán.

A kísérlet során a keménységvizsgálatokhoz készítettem normál-, alul- és túltemperált CB - és CBE I - csokoládémintát. A CB - csokoládémasszák hűlési görbéi **14. ábrán** figyelhetők meg, a temperálás során beállított és mért zónahőmérsékleteket a **10. táblázat** tartalmazza. A folyamat során a rotor 6 kg/h tömegárammal forgatta a masszákat.



**14. ábra. A normál-, alul- és túltemperált CB - masszák hűlési görbéi**



10. táblázat. A normál-, alul- és túltemperált CB - masszák temperálási adatlapja

Berendezés: AASTED AMK			Termék: CB (100% kakaóvaj)		
			Tömegáram: 6 kg/h		
	Zóna	H <sub>2</sub> O- hőmérséklet (beállított), °C	H <sub>2</sub> O- hőmérséklet (mért), °C	Csokoládé- massza hőmérséklet, °C	Megjegyzések
1.	Z1	22,0	24,2	26,9	<b>NORMÁLTEMPERÁLT</b>  Mintatároló hőmérséklete: 50,1°C
	Z2	16,0	17,5	23,2	
	Z3	30,5	30,0	27,4	
2.	Z1	20,0	31,4 (!)	29,7	<b>! Hibás érzékelő</b>  <b>ALULTEMPERÁLT</b>  Mintatároló: 50,1°C
	Z2	18,5	18,3	23,4	
	Z3	31,5	32,2	29,0	
3.	Z1	22,0	21,9	22,1	<b>TÚLTEMPERÁLT</b>  Mintatároló hőmérséklete: 50,1°C
	Z2	16,0	17,0	22,0	
	Z3	28,5	28,2	26,8	

A folyamat utolsó lépéseként a temperált csokoládé-masszát műanyag *csokoládéformákba* adagoltam, és a 4°C-os *hűtőkamrában* helyeztem el. A hűtőkamrában az elhelyezést követő néhány óra alatt lezajlott a gyártás *főkristályosodási szakasza*. Ezután a szilárd csokoládémintákat a kristályosodás következtében fellépő kontrakció miatt könnyűszerrel eltávolítottam a formákból. A fényes, sima felületű, kemény és kagylós törésű csokoládétáblákat alufóliába csomagoltam, megjelöltem és elhelyeztem a vizsgálatokhoz kiválasztott tárolási helyeken.

A csokoládéminták előállítását négy alkalommal végeztem el a következő kombinációk szerint:

**I. gyártás:** 2003. június; CB I és CB II (két azonos tétel), CBE I, CBE II, CBE III

**II. gyártás:** 2003. augusztus; CB I és CB II (két azonos tétel), CBE I, CBE II, CBE III

**III. gyártás:** 2003. október; CB (normál-, alul- és túltemperált) és CBE (=CBE I) (normál-, alul- és túltemperált)

**IV. gyártás:** 2003. december; CB, CBE (=CBE I) és CBI

A kombinációk összeállításánál célom volt, hogy összehasonlítsam a gyártásokon belül és a gyártások között az összetétel és a temperáltság késztermékre gyakorolt hatását. A gyártások idejét

az alapján választottam ki, hogy vizsgálhassam a nagy napi hőingadozású nyári időszak és a kis napi hőingadozású téli időszak hosszú ideig tartó tárolás során mutatkozó hatásait.

#### 4.1.4 A tárolási körülmények

A tárolási körülmények szilárd csokoládé textúrájára és érzékszervi tulajdonságaira gyakorolt hatásának vizsgálatához a mintákat *nem szabályozott* körülmények között, *normál szobahőmérsékleten és légköri nyomáson*, egyazon épület *három szomszédos helyiségében* helyeztem el.

A tárolási helyek kiválasztását az határozta meg, hogy a fogyasztók spontán, szabályozatlan, évszakok hőingadozásainak kitett tárolási szokásait szimuláljam. Ennek megfelelően választottam ki három, egymástól eltérő hőmérsékleti körülményt biztosító helyiséget.

*A tárolási helyek elnevezése és jellemzőik:*

1. **„déli oldal”** (extrém meleg): a mintákat egy déli égtáj felé néző helyiség ablaka előtt helyeztem el, közvetlen napfény hőhatásának kitéve. A helyiséget télen fűtik, a fűtött időszakban a hőmérsékletingadozás: 20-25°C, az átlaghőmérséklet 22°C. A fűtetlen időszak – beleértve a nyári meleg hónapokat – hőmérsékletingadozása a minták közvetlen közelében: 20-60 °C, átlaghőmérséklete 28°C.

A déli oldal a standardtól eltérő, extrém nagy hőmérsékletű tárolási hely. Körülményei hasonlítanak azokhoz, amelyeket például az autó kesztyűtartójában tapasztalhatunk, ahol a fogyasztók nyári melegben is helyezhetnek el csokoládét.

2. **„északi oldal”** (standard): a mintákat egy északi égtáj felé néző helyiség ablaktól távol eső pontján, a közvetlen napfény hőhatásától védve helyeztem el. A helyiséget télen mérsékelten fűtik, a fűtött időszakban a hőmérsékletingadozás: 18-20 °C, az átlaghőmérséklet 19°C. A fűtetlen időszak hőmérsékletingadozása a minták közvetlen közelében: 18°C-26°C, átlaghőmérséklete 21°C. Az északi oldal a fogyasztói szokásokat figyelembe véve a normál (standard) tárolási hely. Körülményei elsősorban a lakások élelmiszertároló kamráiban uralkodókhoz hasonlíthatók, ahol a fogyasztók általában a vásárlást követően a csokoládét is tárolják.

3. **„pince”** (extrém hűvös): a mintákat ablakmentes pincehelyiségben helyeztem el. A helyiséget télen sem fűtik, az ősztől tavaszig tartó időszakban a hőmérsékletingadozás: 12-14°C, az átlaghőmérséklet 13°C. A tavasztól őszig tartó időszak hőmérsékletingadozása: 14-19°C, átlaghőmérséklete 17°C.

A pince a csokoládék javasolt, optimális tárolási helyének tekintendő (<18°C). A fogyasztók ennél jóval hidegebb hőmérsékletet (4-8°C) a csokoládé hűtőszekrényben történő tárolásával érnek el. Ez azonban nem általános, nem tekinthető standardnak.



A tárolási vizsgálat az I. és a II. gyártású minták esetében 12 illetve 11 hónapig, a III. és a IV. gyártású minták esetében 9 illetve 8 hónapig tartott. A tárolási kísérletet vázlatosan a **11. táblázat** mutatja be.

**11. táblázat. A különböző gyártású csokoládéminták tárolási kísérletének vázlata**

Csokoládéminták				Tárolás	
Gyártások	Gyártási idő	Minták	Tárolási idő	Tárolási helyek	Hőm. tart.
I. gyártás	2003. június	CB I, CB II CBE I, CBE II, CBE III	12 hónap	Déli oldal	20-60°C
II. gyártás	2003. aug.	CB I, CB II CBE I, CBE II, CBE III	11 hónap	Északi oldal	18-26°C
III. gyártás	2003. okt.	CB (normál-, alul- és túl- temperált) CBE (normál-, alul- és túl- temperált)	9 hónap		
IV. gyártás	2003. dec.	CB, CBE, CBI	8 hónap	Pince	12-19°C

A tárolási vizsgálatokhoz mind a négy gyártás összes mintáját elhelyeztem mindhárom tárolási helyen, a déli, az északi oldalakon és a pincében is.

A dolgozat 2.3 *fejezete* részletezi az ipari csokoládégyártás folyamatát. Az irodalmi adatok szerint (MOHOS 1990) a jó minőségű csokoládé szemcsemérete 20-30µm közötti érték. A kísérleteim során előállított csokoládék grindométerrel és mikrométerrel mért szemcsemérete 45-46µm, mert a csokoládémasszák előállításának lépései közül hiányzik a finomaprítás művelete, amelyet a főzőkutter aprító funkciója csak részben képes ellátni.

Ennek megfelelően a kísérletek során előállított termékeket – ahogyan a dolgozat címe is tükrözi – csokoládé modellrendszereknek neveztem el, a munka során azonban az egyszerűsített „csokoládé” megnevezést használtam.

## 4.2 A vizsgálati módszerek

### 4.2.1 Rotációs reometria

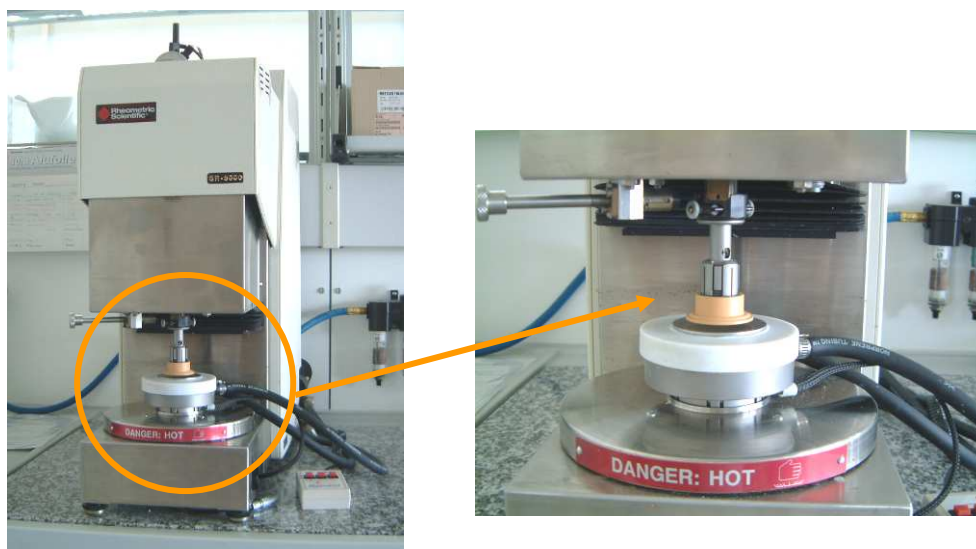
A rotációs reométerek az abszolút reométerek csoportjába tartoznak. Ezek a mérőeszközök a fizikai mennyiségek közvetlen mérésével határozzák meg az anyagok reológiai tulajdonságait. A mért jellemzők függnének a mérőműszerek geometriájától.

A rotációs reométerek háromféle mérőberendezéssel alkalmazhatók:

1. koaxiális mérőhengerek
2. kúp-lap mérőtest
3. párhuzamos lap (lap-lap) mérőtest

A koaxiális mérőhengereknek a csokoládémassza reológiai meghatározásában betöltött gyakorlati szerepéről már a 2.6.1 fejezetben esett szó.

A rotációs mérések elvégzéséhez *Rheometric Scientific SR-5000*-típusú reométert (**15. ábra**), egy *dinamikus nyíró reométert (dynamic stress rheometer, DSR)* és a hozzá tartozó *RSI Orchestrator* software-t használtam.



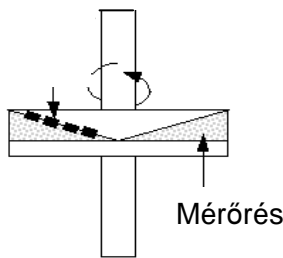
**15. ábra. A Rheometric Scientific SR-5000-típusú dinamikus nyíró reométer**

A dinamikus nyíró reométer sűrített levegős nyomással (4 bar) működtethető, hőmérséklet-szabályozása elektronikus Peltier-elem és vízfürdő alkalmazásával valósítható meg.

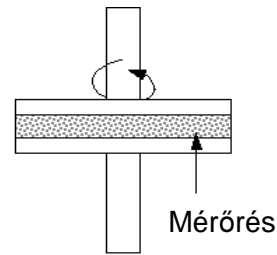
A mérések elvégzéséhez – a gyakorlattól eltérő módon – nem a koaxiális cilindereket használtam, hanem a kúp-lap illetve a párhuzamos lap geometriák közül választottam ki a megfelelő mérő-

szerkezetet. Ezek fő előnye a koaxiális mérőhengerekkel szemben a kis mintamennyiség-igény. A kiválasztáshoz szükséges szempontokat a **16. ábra** foglalja össze.

### ***Kúp-lap geometria***



### ***Párhuzamos lap geometria***



*Előny:* konstans nyírósebesség, kevés minta

*Hátrány:* csak kis szemcseméretű

anyagok esetén alkalmazható

*Előny:* szemcseméret nem korlátozott, kevés minta

*Hátrány:* nyírósebesség nő a sugárral,

korrekció szükséges

## **16. ábra. A rotációs viszkoziméter kúp-lap és párhuzamos lap geometriáinak összehasonlítása**

Mindkét mérőberendezésnél az alsó lapra (mérőrés) helyezzük a mérendő mintát, amelyben a felső forgó kúp illetve lap a forgatónyomatékból eredően nyírófeszültséget ébreszt.

A kísérlethez a **párhuzamos lap geometriát választottam**, mert a kúp-lap mérőberendezésnél a csokoládémassza szemcséi beszorulhatnak a kis szögű hasadékba, amely súrlódást okozva hamis eredményekhez vezet. A párhuzamos lap geometria esetében azonban a massa nem egyenletes deformációnak van kitéve a lapok felületén, mert a nyírósebesség nő a rádiusszal. Az ebből származó mérési hiba korrekcióval kiküszöbölhető.

A mérés elvégzése előtt a csokoládémasszákat 50°C-on 3-4 órán keresztül temperáltam, hogy az összes szilárd zsírtartalmat feloldjam.

### A mérési paramétereit:

- párhuzamos lapok távolsága (mérőrés magassága): 0,5mm
- lapok átmérője: 40mm
- hőmérséklet: 40°C
- minimális mintamennyiség: 0,628 cm<sup>3</sup>

A nyírósebesség ( $\dot{\gamma}_R$ ) értéke a szögsebességből származtatható:

$$\dot{\gamma} = \omega \cdot \frac{r}{h} \quad (4.1)$$

ahol:

$\omega[1/s]$  szögsebesség,

$r[m]$  lapok sugara,

$h[m]$  mérőrés magassága (lapok távolsága).

A nyírósebesség értéke a lapok területén ( $r = R$ ) a legnagyobb:

$$\dot{\gamma}_R = \omega \cdot \frac{R}{h} \quad (4.2)$$

A forgatónyomatékra ( $M_d$ ) a nyírófeszültség ( $\tau(\dot{\gamma})$ ) függvényében felírható:

$$M_d = \frac{2\pi R^3}{\dot{\gamma}_R^3} \int_0^{\dot{\gamma}_R} \dot{\gamma}^2 \tau(\dot{\gamma}) d\dot{\gamma} \quad (4.3)$$

A nem newtoni folyadékokra a Weißenberg-Rabinowitsch korrekcióval (PAHL et al. 1995) a látszólagos nyírófeszültségből ( $\tau_{R,s}$ ) meghatározható a valódi nyírófeszültség:

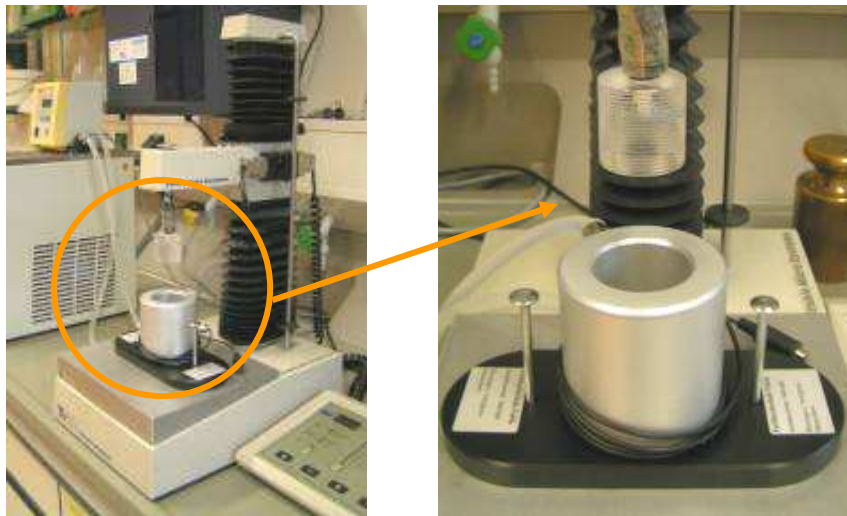
$$\tau_R = \frac{\tau_{R,s}}{4} \left( 3 + \frac{d \ln \tau_{R,s}}{d \ln \dot{\gamma}_R} \right) = \frac{\tau_{R,s}}{4} (3 + n) \quad (4.4)$$

Az egyenletben  $n$  a látszólagos nyírófeszültségből meghatározott folyásgörbe emelkedése, segítségével a látszólagos viszkozitásból ( $\eta_{r,s}$ ) számolható a valódi viszkozitás:

$$\eta_R = \frac{\tau_R}{\dot{\gamma}_R} = \frac{\tau_{R,s}}{\dot{\gamma}_R} \left( \frac{3 + n}{4} \right) = \eta_{R,s} \left( \frac{3 + n}{4} \right) \quad (4.5)$$

#### 4.2.2 Oszcillációs reometria

A dinamikus reológiai mérések elvégzésére a *Stable Micro Systems (SMS) TA-XT2-típusú precíziós penetrométer (texture analyser)* néhány éve kifejlesztett mérőeszközét, az ún. **Annular Pumping Rig** berendezést (17. ábra) használtam.



17. ábra. A TA-XT2 texture analyser az Annular Pumping Rig mérőberendezéssel

Az Annular Pumpig Rig egy duplafalú, vízfürdővel temperálható, *hengeres, bordázott mintatartó*ból és egy szintén *henger alakú, bordázott próbatest*ből áll. A műszer karjához rögzített plastik próbatest a minta közepébe merítve kis amplitúdójú oszcillációs rezgéseket, szinuszhullámokat kelt, és a texture analyser karjában található erőmérő cella méri az anyagban ébredő ellenállásból fakadó deformációs erőt.

#### A mérés paraméterei:

- nyomófej sugara: 17,7mm
- minta magassága a mintatartóban: 20mm
- mintatartó és mérőtest közötti rés nagysága a belemerítés után: 10mm
- rezgés frekvenciája: 1Hz
- amplitúdó: 0,1mm
- periódusszám: 5
- hőmérséklet: 40°C

A mérés során a *Texture Expert program* az eltelt idő függvényében rögzíti a deformációhoz szükséges erőt, és megkapjuk az anyagra jellemző szinuszhullám-alakú ún. *Sine Wave Test*-et. A szinuszhullám-teszt időtengelyének középső pontjától kijelölt *egy egész periódus* (*periódusideje:  $T = 1s$* ) kiértékelésével kapjuk meg az anyag reológiai jellemzőit. A program a vizsgált periódus kijelölését és a fizikai mennyiségek keresztkorrelációval (cross correlation) történő számítását az előzetesen beállított makró futtatásával automatikusan végzi.

A mérési paraméterekből keresztkorrelációval (az adatsorok értékkészletei között fennálló korrelációval) meghatározható az erő, a kitérések és a fáziskülönbség, ezekből pedig az alapvető reológiai jellemzők számíthatók (GEHM 1998):

A szinuszos oszcilláció *deformációs (kompressziós) sebessége*:

$$\dot{\gamma} = \omega \cdot A \cdot \cos(\omega \cdot t) = \omega \cdot A \cdot \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (4.6)$$

ahol:

$\omega[Hz]$       körfrekvencia,

$A[mm]$       amplitúdó,

$t[s]$         idő.

A szinuszos *deformációs (kompressziós) feszültség*:

$$\tau = \tilde{\tau} \cdot \sin(\omega \cdot t + \delta) \quad (4.7)$$

ahol:

$\tilde{\tau}[Pa]$  def. feszültség maximuma a periódusban,

$\delta$  fáziseltolási szög.

A deformációs sebesség szinuszos változása esetén gyakran fáziseltolás figyelhető meg az igénybevétel és az anyagban keletkező feszültség között. A *fáziseltolás mértékét* fejezi ki a *fáziseltolási szög* vagy *fázisszög*, amely anyagfüggő, segítségével számolhatók az anyagi jellemzők:

ideális elasztikus anyagokra:  $\delta = 0$ ,  $G' = G^*$ ,  $G'' = 0$

ideális viszkózus anyagokra:  $\delta = 90^\circ$ ,  $G'' = G^*$ ,  $G' = 0$

viszkoelasztikus anyagokra:  $0^\circ < \delta < 90^\circ$ .

A *tárolási modulus* ( $G'[Pa]$ ) a deformáció kialakításához szükséges feszültségnek azt a részét képezi, amelyet a deformált anyag tárol, és a feszültség megszűnésével a deformáció megszüntetéséhez felhasznál. Az *elasztikus anyagi tulajdonságot* írja le:

$$G' = G^* \cdot \cos \delta \quad (4.8)$$

A *veszteségi modulus* ( $G''[Pa]$ ) a deformációs feszültség azon részéhez kapcsolható, amely a deformáció során hő formájában elvész. A *viszkózus anyagi viselkedést* jellemzi:

$$G'' = G^* \cdot \sin \delta \quad (4.9)$$

A *komplex modulus* ( $G^*[Pa]$ ) a vizsgált anyagnak a deformáló erővel szemben kifejtett összes ellenállását reprezentálja, számítása:

$$|G^*| = \sqrt{G'^2 + G''^2} \quad (4.10)$$

A modulusokhoz hasonlóan határozható meg a viszkozitás elasztikus anyagokra jellemző összetevője, a *látszólagos tárolási viszkozitás* ( $\eta'_{app}$ ), és a viszkozitás viszkózus viselkedésre jellemző összetevője, a *látszólagos veszteségi viszkozitás* ( $\eta''_{app}$ ):

$$\eta'_{app} = \eta^*_{app} \cdot \cos \delta \quad \text{és} \quad \eta''_{app} = \eta^*_{app} \cdot \sin \delta \quad (4.11)$$

A *látszólagos komplex viszkozitásra* felírható:

$$\eta^*_{app} = \frac{|G^*|}{\omega} \quad (4.12)$$

### 4.2.3 Penetrometriás vizsgálatok

A penetrometriás vizsgálatok elvégzéséhez az oszcillometriás méréseknél is alkalmazott *Stable Micro Systems (SMS) TA-XT2-típusú precíziós penetrométert (texture analyser)* használtam. Mérőtestként a vizsgálat típusától függően egy nemesacéltű illetve egy nemesacélhenger szolgált.

A vizsgálat elve alapján mérőműszer karjához rögzített mérőfej behatol a mintába, és a karba beépített mérőcella segítségével méri a deformáció során fellépő erőt, vagyis a deformációs erőt. A mérés paramétereit (behatolási és emelkedési sebesség, behatolási mélység stb.) az irányítópult vagy a *Texture Expert program* segítségével állítjuk be. A mérés eredményeképpen reogramokat kapunk, amelyeket a számítógép segítségével rögzíthetünk és kiértékelhetünk. Ezek olyan diagramok, ahol a behatolási mélység függvényében a deformációs erőt ábrázoljuk. A diagramok jellemző értékeinek (pl. maximális deformációs erő, látszólagos rugalmassági modulus) meghatározásával kaphatunk információt a vizsgált anyag szerkezetéről, keménységéről.

A szilárd csokoládé reogramjainak kezdeti szakasza csaknem minden mérésnél lineáris. A lineáris deformáció Hooke törvénye szerint a rugalmassági modulussal ( $E$ ) jellemezhető az alábbi összefüggés szerint:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (4.13)$$

ahol:

$\sigma [Pa]$	deformációs feszültség,
$E [m^2/N]$	rugalmassági együttható,
$\varepsilon$	relatív deformáció.

Az egyenletben:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{és} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (4.14)$$

ahol:

$F [N]$	deformációs vagy nyomóerő,
$A [m^2]$	deformációs felület,
$\Delta l [m]$	alakváltozás mértéke,
$l [m]$	test deformáció előtti hossza.

Penetrometriás vizsgálatokat a csokoládé tárolás során változó keménységének valamint hőállóképességének vizsgálatára végeztem.

#### A.) A CSOKOLÁDÉ HŐÁLLÓKÉPESSÉGE

A hőállóképesség vizsgálatát keménységvizsgálati módszerre vezetem vissza. Fokként emelve a minta hőmérsékletét precíziós penetrométerrel mértem a deformációs erő maximumát, majd a hőmérséklet - deformációs erő adatpárokat ábrázolva meghatároztam a minták puhulását.

Mivel a TA-XT2 penetrométer tartozékai között nem állt rendelkezésre temperáló szekrény, ezért a minták adott hőfokra történő melegítését nagyteljesítményű klímasekrénnel (**18. ábra**) oldottam meg.



A mintákat porcelán illetve Petri-csészében helyeztem el a klímasekrényben, és az adott hőfokot beállítva hőmérséklet-kiegyenlítődéig, legkevesebb egy órán keresztül temperáltam. A mérés elvégzését követően a hőmérsékletet 1°C-kal feljebb állítottam, és a temperálást követően elvégeztem az újabb mérést. A klímasekrény belső hőmérsékletét négy helyen elhelyezett hőmérsékletérzékelővel ellenőriztem.

#### 18. ábra. Temperálás a klímasekrényben

A klímasekrényből kikerülve a mérőhelyig történő eljutás ideje alatt a temperált minták veszítenek hőmérsékletükből. A hőveszteség csökkentése érdekében a minták szállításához expandált polisztirolhab-táblából (hungarocell) termodobozt készítettem (**19. ábra**), amelyet alufóliával burkoltam be.

A hőállóképességi vizsgálatok során a megfelelő mérőtest kiválasztása érdekében előkísérleteket végeztem. A nemesacélú és hengeres nyomófejek közül a 2mm átmérőjű henger (P202, Edelstahlzylinder) bizonyult alkalmasabbnak.

#### A mérési paramétere

- nyomófej: P202 cylinder
- deformáció előtti sebesség: 2mm/s
- tesztesebség: 1mm/s



#### 19. ábra. Termodoboz a minták szállításához

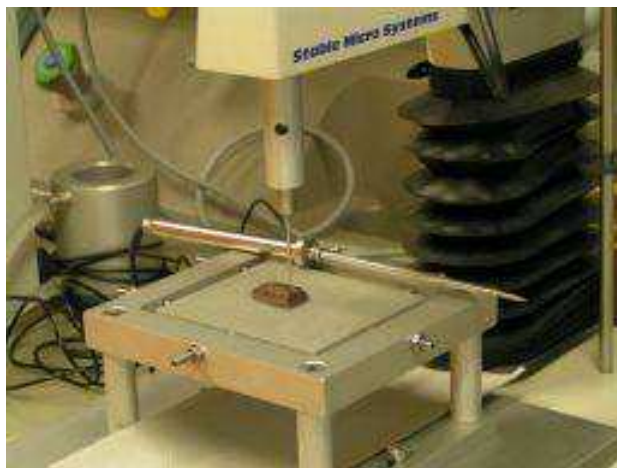


- deformációt követő emelkedési sebesség: 2 mm/s
- maximális deformáció: 4mm

A mérés során a különböző minták keménységének meghatározását 25-32°C-os hőmérséklet-tartományban, a hőmérsékletet rendre 1°C-kal emelve végeztem. A mintákon 10 párhuzamos mérést hajtottam végre, ezek átlagértékéből határoztam meg a maximális deformációs/terhelő erőt. A hőmérsékleti értékek függvényében ábrázolva a maximális terhelő erőket függvénykapcsolattal jellemeztem a csokoládé hőállóképességét, amely a minta puhulásának mértékéről ad információt.

#### B.) A CSOKOLÁDÉ KEMÉNYSÉGE

A csokoládéminták keménységének meghatározására a nemesacél tűszenzorral ellátott TA-XT2 penetrométert használtam (**20. ábra**).



A vizsgálatokat szobahőmérsékleten végeztem, ezért a különböző hőmérsékletű tárolási helyekről származó mintákat a mérések elvégzése előtt legalább egy órával elhelyeztem a mérőhelyiségben. A tesztek során a program segítségével mértem a mérőasztal környezetének hőmérsékletét a szükséges hőmérsékleti korrekciók elvégzéséhez.

**20. ábra. TA-XT2 nemesacéltű mérőfejjel**

#### A mérési paraméterek

- mérőszonda: P2N tű
- deformáció előtti sebesség: 2mm/s
- tesztsebesség: 1mm/s
- deformációt követő emelkedési sebesség: 2 mm/s
- maximális deformáció: 2mm

A keménységvizsgálatok során rögzítettem a minták reogramjait (deformációs mélység - terhelő erő jelleggörbéit), és tíz párhuzamos mérés átlagából meghatároztam az adott csokoládéminta keménységét jellemző maximális deformációs erőt.

#### 4.2.4 Érzékszervi vizsgálatok

Az érzékszervi vizsgálatokat a németországi Fachhochschule Fulda élelmiszertechnológiai szakán a csokoládék minősítésére kialakított panel alapján végeztem. A bírálók az élelmiszertechnológia szak hallgatóinak olyan köréből kerültek ki, akik tanulmányaik keretében érzékszervi minősítői képzésben részesültek.

A bírálat helyszínét a technikum alkalomszerűen erre a célra kialakított ideiglenes bírálófülkéi (21. ábra) képezték.



21. ábra. Az érzékszervi bírálófülkék

A csokoládéminták érzékszervi minősítését kétfajta vizsgálati módszerrel, a *kedveltségi teszt*-tel és a *DLG vizsgálati módszer* alapján végeztem.

##### Kedveltségi teszt (hedonikus skála)

A kedveltségi tesztek azt hivatottak eldönteni, hogy a bíráló az adott terméket vagy termékeket mennyire fogadja vagy utasítja el. Alkalmas meglévő termékek receptúraváltást követő tesztelésére, vagy új termékek kedveltségének vizsgálatára.

Az érzékszervi bírálat során a csokoládémintákat egy bírálaton belül kellett analizálni (visszakóstolás megengedett), és a **12. táblázat**ban feltüntetett hedonikus skála osztályzatai alapján besorolni. A minták kaphattak azonos rangszámot. A döntések indoklására a bírálati lapok megjegyzésrovata adott lehetőséget.

**12. táblázat. A hedonikus skála**

Rangszám	Osztályzat
9	rendkívül tetszik
8	nagyon tetszik
7	eléggé tetszik
6	kismértékben tetszik
5	sem tetszik, sem nem tetszik
4	kismértékben nem tetszik
3	eléggé nem tetszik
2	nagyon nem tetszik
1	egyáltalán nem tetszik

A kiértékelés során a 9 rangszámot három csoportba (9-6, 5, 4-1) soroljuk, és kiszámoljuk, hogy a kapott rangszámok alapján a bírálók hány százaléka sorolja a mintát az egyes csoportokba. A százalékos besorolás alapján *kedveltnek* vagy *elfogadottnak* ítéldhetjük meg az adott mintát, ha a bírálatok:

- ✓  $\geq 80\%$  a legmagasabb (9-6) csoportba,
- ✓  $\leq 10\%$  a középső (5) csoportba,
- ✓  $\leq 10\%$  a legalacsonyabb (4-1) csoportba sorolta a terméket.

A minták azonosságáról illetve különbözőségéről a Friedman analízis és a páronkénti szignifikáns differenciák számítása ad tájékoztatást.

#### A DLG vizsgálati módszer

A DLG vizsgálati módszer (lásd 2.7 fejezet) szerint az adott minták meghatározott *érzékszervi kategóriáit* az 5-pontos skála kritériumai alapján pontozzuk. A kategóriák pontszámait ( $P$ ) a megadott faktorszámokkal ( $G$ ) megszorozzuk (súlyozzuk), az így kapott számokat összeadva és az összpontszámot a súlyzófaktorok összegével elosztva megkapjuk a minta minőségszámát ( $Q$ ).

$$Q = \frac{\sum (P \cdot G)}{\sum G} \quad (4.15)$$

A csokoládéminták osztályozásához kialakított kategóriákat és a faktorszámokat a **13. táblázat** tartalmazza, és a **14. táblázat** foglalja össze az 5-pontos skála kritériumait.

**13. táblázat. A kategóriák és faktorszámuk**

Kategóriák	Faktorszám (G)
1. Összkép, alak, külső felület, díszítés, szín	3
2. Belső kinézet, törés	4
3. Harapási, rágási benyomás	5
4. Illat, íz	8

**14. táblázat. Az 5-pontos skála**

Pont (P)	Kritérium
5	nagyon jó
4	jó
3	kielégítő
2	kevésbé kielégítő
1	nem kielégítő
0	elfogadhatatlan

A minták a minőségszámuk ( $Q$ ) alapján statisztikai módszerekkel összehasonlíthatók, különbözőségük illetve azonosságuk magas biztonsági szinten megállapítható.

#### 4.2.5 A nagy hidrosztatikai nyomású kezelés

A csokoládéminták nagynyomású kezelését STANSTED Mini Foodlab FBG 5620-típusú (**22. ábra**) nagy hidrosztatikai nyomású berendezéssel végeztem.

**22. ábra. A nagy hidrosztatikai nyomású berendezés**

A kezelendő csokoládémintákat 50°C-on felolvasztottam, és műanyag mintatartó hengerekbe töltöttem. A kezeléseket alkalmanként egy-egy pár mintán végeztem.

A berendezés nyomásközvetítő közege kevés ricinusolajjal kevert etilalkohol. A mintákat 800 MPa nyomáson kezeltem 5 percen keresztül.

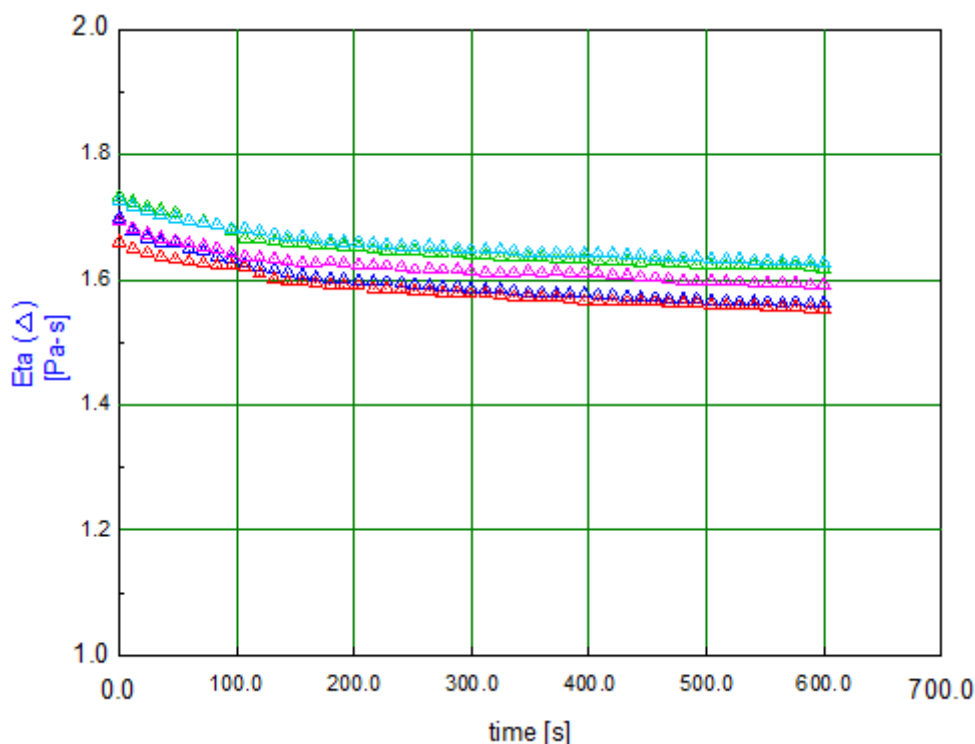
A nyomásemelési és -elengedési szakaszok változási sebessége 1MPa/s. A csokoládémasszák nagynyomású kezelésekor mért kezdetei hőmérséklet 40-50°C. A kezelést követően a csokoládémasszák a műanyag csövekben megszilárdultak, de eltávolításuk nem okozott gondot. A nagynyomás hatására bekövetkező kristályosodás vizsgálatára keménységi méréseket végeztem.

## 5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

### 5.1 A csokoládémassza folyási jellemzői

#### 5.1.1 Rotációs reometria

A folyási jellemzők *párhuzamos lap mérőrendszerrel* történő meghatározásának nagyon fontos kérdése a *mérések reprodukálhatóságának* ismerete. Ennek megállapításához öt mintát véve határoztam meg a CB - massa viszkozitását az idő függvényében. A méréseket *állandó hőmérsékleten* ( $40^{\circ}\text{C}$ ) és *állandó nyírósebesség* mellett ( $\dot{\gamma} = 100 \frac{1}{s}$ ) 10 percig végeztem. Az öt párhuzamos mérést mutatják a **23. ábra** különböző színű görbéi.

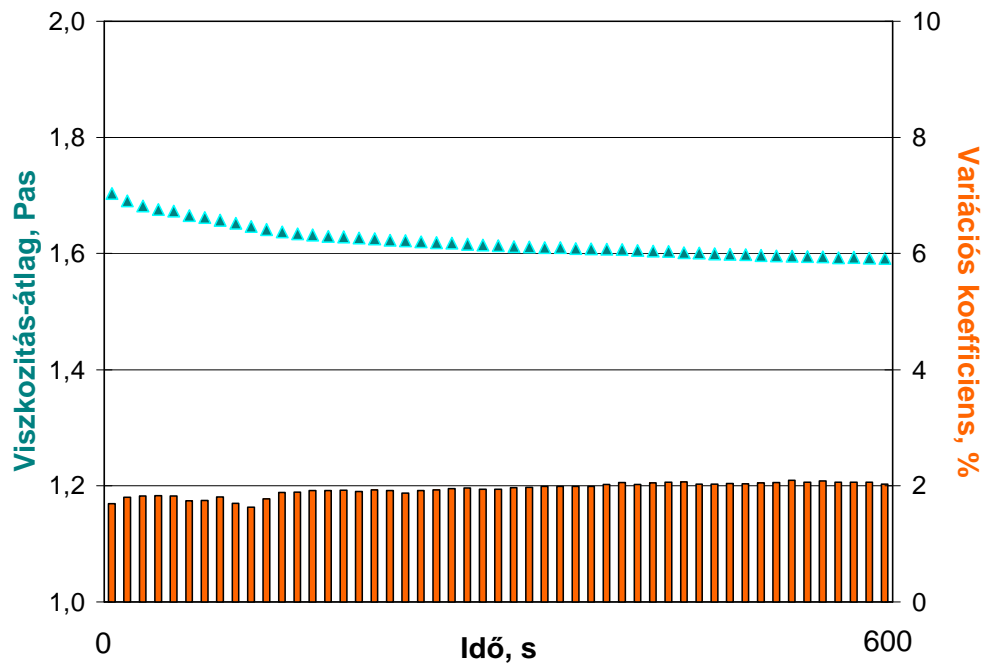


**23. ábra.** A csokoládémassza időfüggő viszkozitása állandó nyírósebességnél ( $\dot{\gamma} = 100 \frac{1}{s}$ )

A görbék lefutásából látható, hogy a csokoládémassza viszkozitása (nyíró-igénybevétellel szembeni ellenállása) az idő függvényében kezdetben csökken, ezután megközelít egy állandó értéket (*konstans nyírósebességen meghatározott egyensúlyi viszkozitás*,  $\eta_{\infty}$ ). Ennek oka, hogy a szuszpenzió szerkezete a nyírás hatására átrendeződik, majd elér egy végleges, egyensúlyi állapotot.

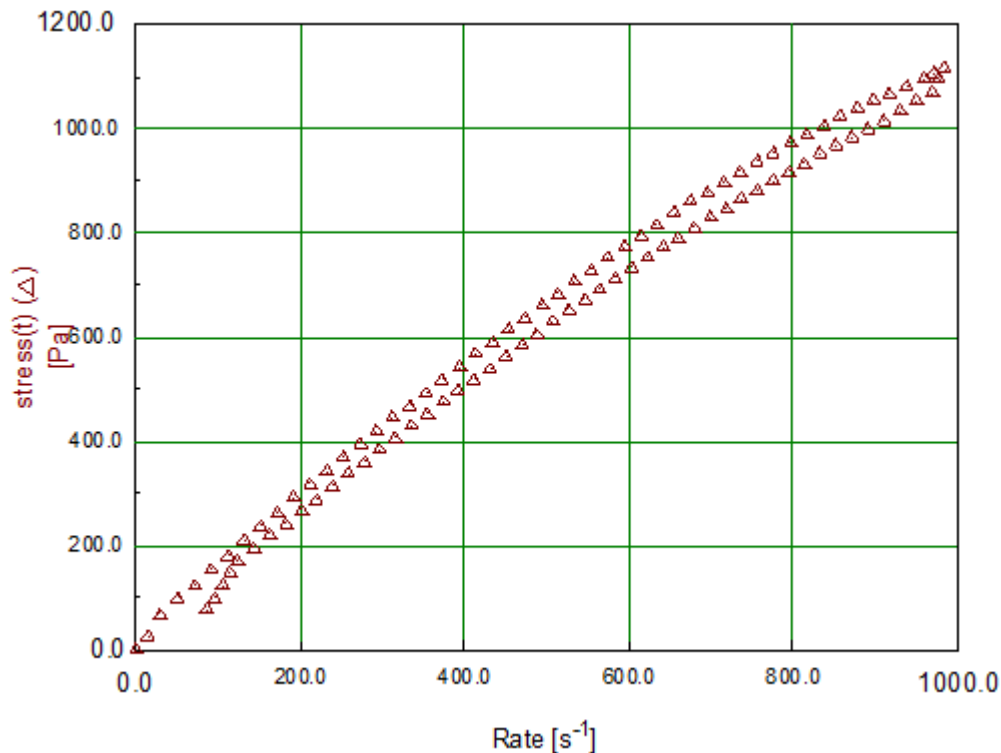
Az öt párhuzamos mérés alapján meghatározható a CB - massa az idő függvényében adott nyírósebesség mellett mért átlagos viszkozitása (**24. ábra**). A vizsgálat ismételhetőségének megítéléséhez meghatároztam az egyes időadatokhoz – mint mérési pontokhoz – tartozó viszkozitás-

értékek relatív szórását. A relatív szórás mértéke 1,7-2,1% között mozog, **a rotációs reométer párhuzamos lap geometriájával végzett mérés nagyon jó reprodukálhatóságát** jelezve.



**24. ábra.** A csokoládémassza átlagos viszkozitása és variációs tényezője állandó nyírósebességnél ( $\dot{\gamma} = 100 \frac{1}{s}$ )

A CB - csokoládémassza *folyásgörbéjének* ábrázolásához *emelkedő* (felső ág) majd *csökkenő* (alsó ág) nyírósebesség mellett határoztam meg a *deformációs feszültséget* (**25. ábra**).

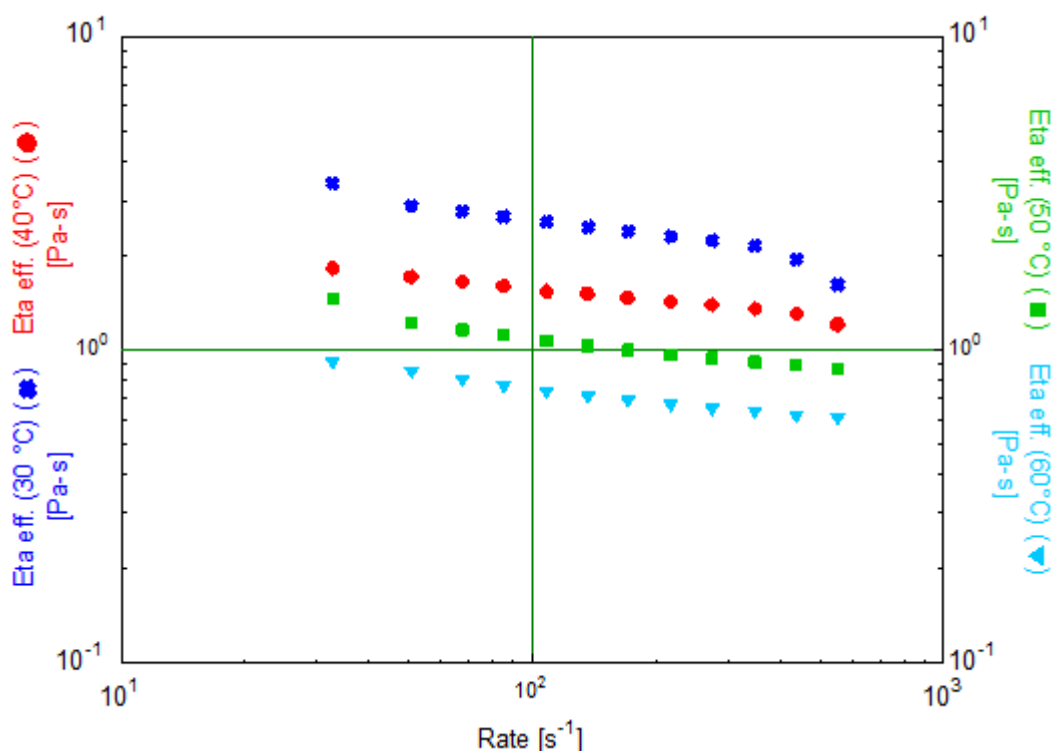


**25. ábra.** A CB - massa folyásgörbéje: a feszültség a nyírósebesség függvényében

A folyásgörbe csaknem az origóból indul (newtoni jellegű) emelkedése kezdetben a legnagyobb, majd a nyírósebesség emelésével csökken a meredekség, mert a massa szerkezete – hasonlóan az állandó sebességű nyíró-igénybevételnél tapasztaltakhoz – leépül. A teljes mértékű szerkezeti leépülés az *egyensúlyi viszkozitást* ( $\eta_{\infty}$ ) elérve következik be.

A szuszpenzió *szerkezetének változása reverzibilis*, a nyírósebesség csökkentésével a massa szerkezete bizonyos időeltolódással ismét felépül. A nyírósebesség emelkedő fázisában ugyanazon értéknél nagyobb a viszkozitás (nagyobb deformációs feszültség), mint a csökkenő fázisban, ahol a nyírófeszültség a negatív értékekhez tart. A csokoládemassa *tixotróp viselkedést* mutat.

A következő kísérlet a csokoládemassa viszkozitás-görbéinek *hőmérsékletfüggését* mutatja be. A CB - massa különböző hőmérsékleteken (30°C, 40°C, 50°C, 60°C) a nyírósebesség függvényében felvett viszkozitás-görbéit mutatja be **26. ábra** logaritmikus tengelyeken ábrázolva.

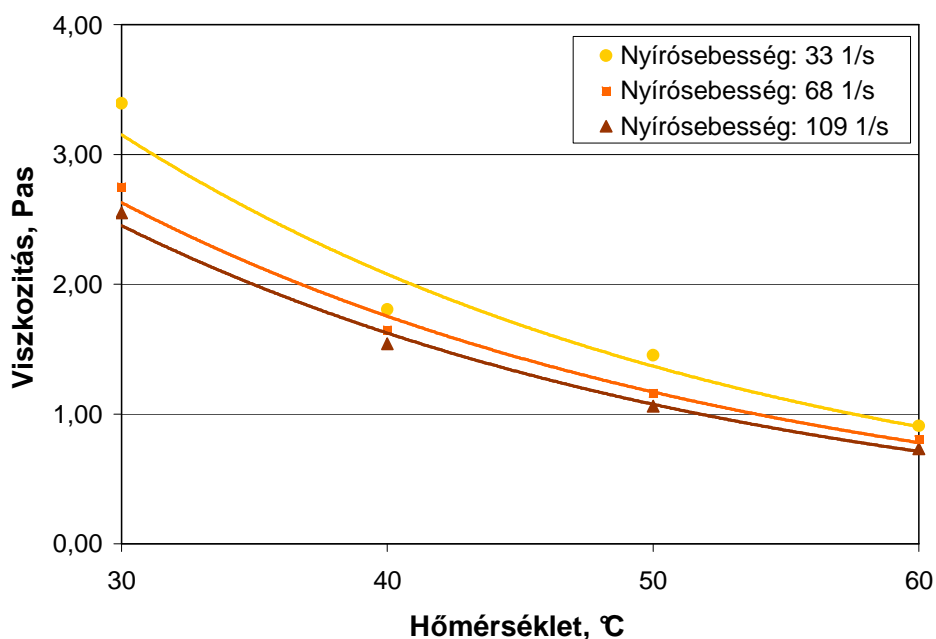


**26. ábra.** A CB - massa adott hőmérséklethez (30°C, 40°C, 50°C, 60°C) tartozó viszkozitás-görbéi: viszkozitás a nyírósebesség függvényében

A nagyobb hőmérsékleten mért masszák nyírósebesség-függő viszkozitása kisebb, illetve a nagyobb hőmérsékleten felvett görbék között kisebb a különbség. A 30°C-hoz tartozó viszkozitás-görbe magasabb nyírósebességnél erős csökkenést mutat, aminek oka, hogy 35°C alatti hőmérsékleten beindul a csokoládemassa szilárdulási, kristályosodási folyamata, és e tendencia a nyíró-igénybevétel hatására még intenzívebben jelentkezik.



A viszkozitás *hőmérsékletfüggésének a jellegét* úgy állapítottam meg, hogy adott nyírósebességeken (33 1/s, 68 1/s, 109 1/s) mért viszkozitás-értékeket ábrázoltam a hőmérséklet függvényében (27. ábra).



27. ábra. A CB - massa viszkozitásának hőmérsékletfüggése adott nyírósebességnél

A viszkozitás és a hőmérséklet adatpárokra az Excel program segítségével trendvonalakat illesztettem. A program által megadott *függvénykapcsolatok* és az illeszkedés szorosságát vizsgáló *determinációs együtthatók* ( $r^2$ ) alapján a pontpárookra *exponenciális görbék* illeszthetők.

Az exponenciális függvénykapcsolatok jóságát a függő változók természetes alapú logaritmi-kus (ln) transzformációját követően lineáris regresszióval és Durbin - Watson próbával ellenőriztem. A módszer elvégzésének módjáról a következő fejezetben esik részletesebben szó.

Az eredmények igazolták a **viszkozitás és a hőmérséklet** között fennálló **exponenciális kapcsolatra** vonatkozó feltételezést. Az eredményeket nem részletezem, mert a függvénykapcsolatok statisztikailag igazolt megállapításához szükséges a viszkozitás-görbék jóval több hőmérsékleti értéken történő meghatározása. A fenti kísérlet eredménye csak tájékozási célokra ajánlott.

Ezzel összhangban MOHOS (2010) is leírja, hogy STANLEY (1941), FINCKE és HEINZ (1956) szerint csokoládé olvadékoknál a  $\log \eta$  vs.  $1/T$  összefüggés jó közelítéssel lineáris. A viszkozitás hőmérséklet-függését az alábbi, Arrhenius-típusú egyenlettel modellezzük, amely a csokoládé-reológiában is bevált:

$$\eta = \eta_0 \exp[\Delta H / RT] \quad (5.1)$$

A metszet és a meredekség alapján az egyenlet pontosan megadható.



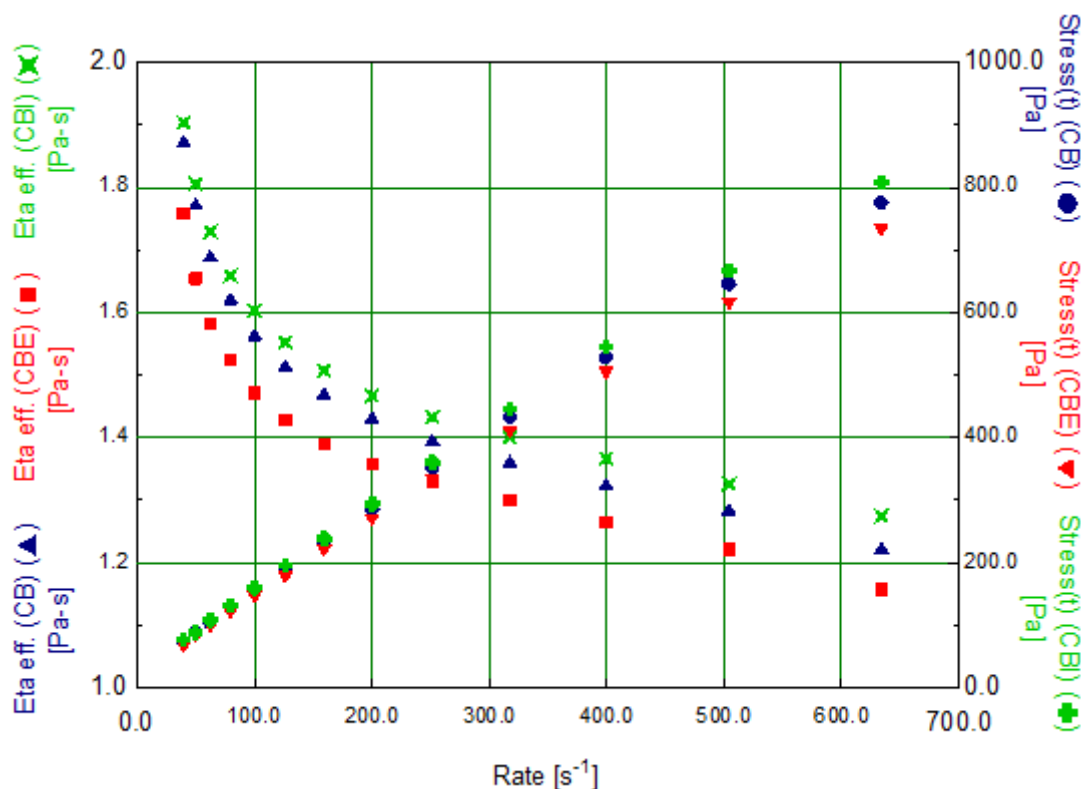
MOHOS (2010) továbbá művében hivatkozik FINCKE és HEINZ (1956) vizsgálataira, amelyek kimondják, hogy  $1^{\circ}\text{C}$  hőmérsékletcsökkenés 2-3% viszkozitás-csökkenést okoz barna csokoládéknál. Ezzel összefüggésben állnak saját eredményeim, melyek alapján a különböző nyírósebességi értékeken,  $30^{\circ}\text{C}$  és  $60^{\circ}\text{C}$ -on – tehát  $30^{\circ}\text{C}$  hőmérsékletcsökkenéssel – mért viszkozítások csökkenése:

$$33 \text{ 1/s: } 3,4 \rightarrow 0,9 \text{ (74\%)}$$

$$68 \text{ 1/s: } 2,8 \rightarrow 0,8 \text{ (71\%)}$$

$$109 \text{ 1/s: } 2,6 \rightarrow 0,7 \text{ (73\%)}$$

A különböző összetételű, *CB* -, *CBE* -, és *CBI* - csokoládémasszák  $40^{\circ}\text{C}$ -on, emelkedő nyírósebesség mellett meghatározott *átlagos viszkozitás- és folyásgörbéit* hasonlítja össze a **28. ábra**. Az átlaggörbék meghatározásához mindhárom massa esetében három párhuzamos mérést végeztem. A masszák átlagos viszkozitás-görbéit *konfidencia-intervallum - becsléssel* hasonlítottam össze, hogy megállapítsam, okoz-e eltérést a csokoládémasszában található 5%-nyi mennyiségű növényi zsír (*CBE* - és *CBI* - masszák) a standardhoz (*CB* - massa) képest.



**28. ábra.** A *CB* -, *CBE* - és *CBI* - masszák átlagos viszkozitás- és folyásgörbéi (viszkozitás és feszültség a nyírósebesség függvényében)

Az eljárás során a *CB* - massa öt párhuzamos mérése alapján meghatároztam a nyírósebesség-értékekhez tartozó viszkozitás-középértékek konfidencia-intervallumának (tévedési valószínűsége)

ség:  $\alpha = 0,05$ ) alsó és felső határát (**15. táblázat**). A konfidencia-intervallumok 95%-os megbízhatósági szinten tartalmazzák a populáció ismeretlen középértékét, vagyis az adott populációból származó minták középértékeit is.

**15. táblázat. A csokoládémasszák viszkozitás-középértékei és a CB - massa viszkozitás-értékeinek konfidencia-intervallumai**

Nyírósebesség, 1/s	Viszkozitás, Pas			
	CB - massa	CBE - massa	CBI - massa	Konfidencia-intervallumok
40,060	1,8721	1,7589	1,9043	1,8445 - 1,8997
50,338	1,7710	1,6553	1,8057	1,7434 - 1,7986
63,366	1,6881	1,5832	1,7291	1,6605 - 1,7157
79,764	1,6207	1,5245	1,6590	1,5931 - 1,6483
100,420	1,5627	1,4718	1,6025	1,5351 - 1,5903
126,300	1,5133	1,4285	1,5530	1,4857 - 1,5409
159,160	1,4702	1,3912	1,5082	1,4426 - 1,4978
200,390	1,4311	1,3583	1,4673	1,4035 - 1,4587
252,060	1,3955	1,3283	1,4324	1,3679 - 1,4231
317,630	1,3614	1,3009	1,4011	1,3338 - 1,3890
399,900	1,3247	1,2656	1,3666	1,2971 - 1,3523
503,510	1,2837	1,2224	1,3265	1,2561 - 1,3113
634,020	1,2229	1,1575	1,2751	1,1953 - 1,2505

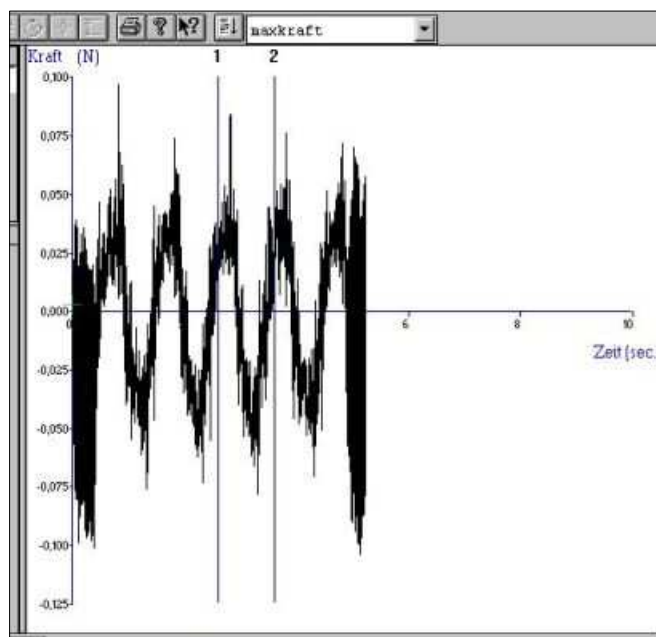
A táblázatból kitűnik, hogy a CBE - és a CBI - masszák viszkozitás-középértékei kívül esnek standard CB - masszára meghatározott konfidencia intervallumokon, vagyis a **CBE - és a CBI - masszák viszkozitás-görbéi 5%-os tévedési valószínűség mellett szignifikánsan különböznek a standard, idegen növényi zsírt nem tartalmazó CB - massa viszkozitás-görbétől.**

A különbség – gyakorlati tapasztalataim alapján – kismértékű ugyan, de kijelenthető, hogy a **CBE - massa nyírósebesség-függő viszkozítása kisebb, a CBI - massa viszkozítása pedig nagyobb a CB - massa viszkozításánál.** Valószínűsíthető, hogy a csekély eltérés nem okoz problémát az ipari feldolgozás során, ennek igazolása azonban további gyakorlati vizsgálatokat igényel.

### 5.1.2 Oszcillációs reometria

Az oszcillációs mérés során az Annular Pumping Rig a minta síkjára merőlegesen, kis amplitúdójú rezgéseket keltett a csokoládémasszában, és mérte a roncsolásmentes deformációhoz szükséges erőt, amely az anyag ellenállásának leküzdéséhez volt szükséges. Az oszcillációs kísérleteket 40°C hőmérsékleten, *mintacserével és mintacsere nélkül* is elvégezve *azonos eredményeket* kaptam, ami a vizsgálati módszer **roncsolásmentes** voltát igazolja. A mérés során ugyanis az anyag szerkezete nem változik olyan mértékben, hogy az eredményeket bármilyen módon befolyásolná. Az azonos körülmények között végzett ismétlések eredményei a **mérés reprodukálhatóságát** bizonyított-

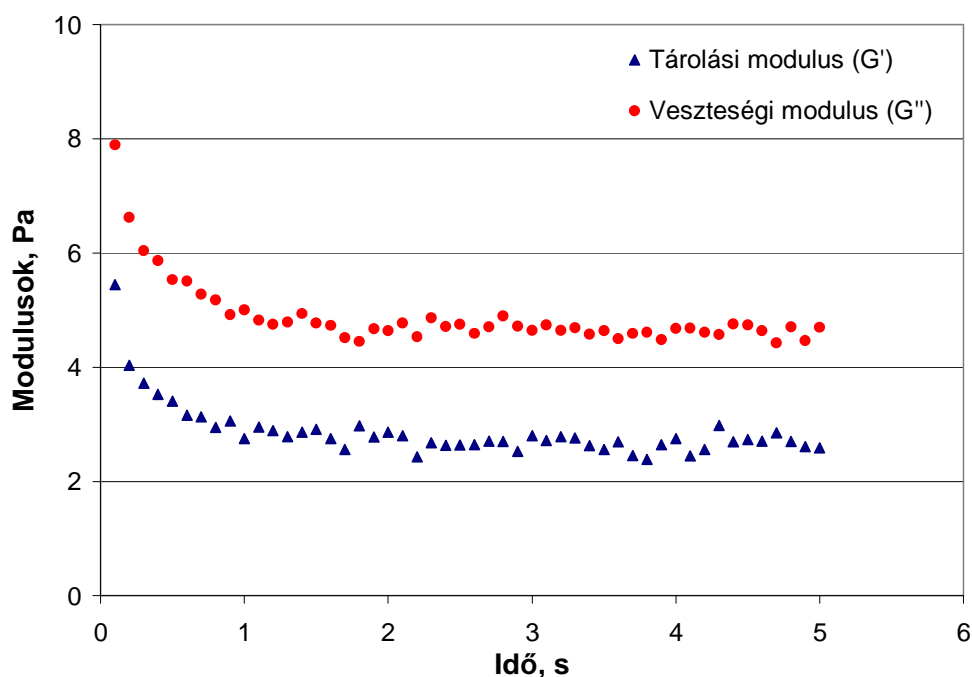
ták. Az oszcilláció során rögzített *idő-erő diagram* a *Sine Wave Test* (szinuszhullám-teszt), amelyet a **29. ábra** szemléltet.



**29. ábra.** A CB - csokoládémassza szinuszhullám-tesztje (def. erő az idő függvényében)

A Texture Expert program a középítő alapján az 1-es és a 2-es tengely kijelölésével meghatározott *egy egész periódust*. A periódusra jellemző fizikai mennyiségekből történt az anyag reológiai paramétereinek számítása.

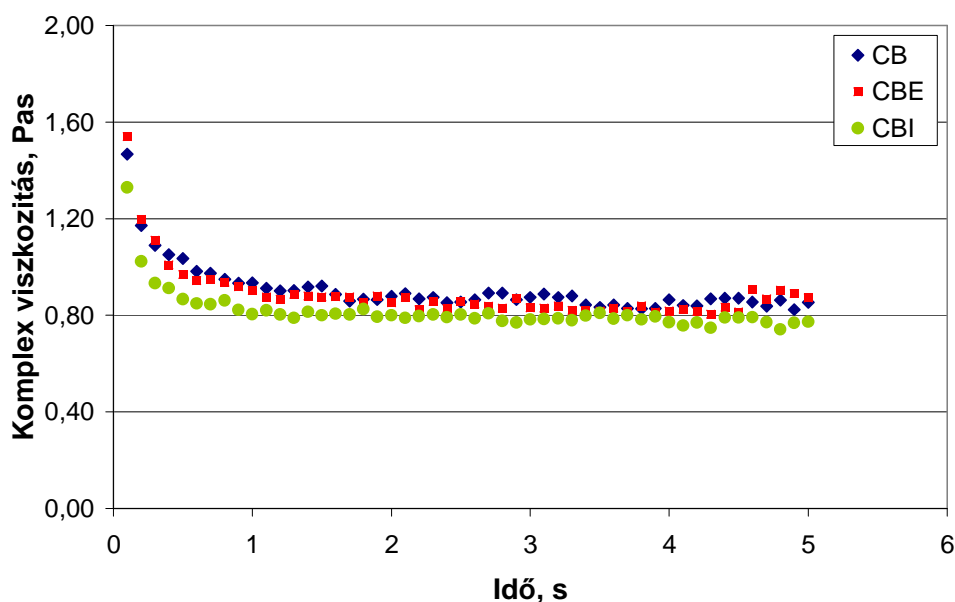
Az anyagi jellemzők közül a CB - csokoládémassza *veszteségi és tárolási modulusainak* időbeli változását mutatja be a **30. ábra**.



**30. ábra.** A CB - massza tárolási és veszteségi modulusainak változása az idő függvényében

A diagramból látható, hogy a CB - massa adott időpillanathoz tartozó *tárolási modulusának értéke* hozzávetőlegesen *fele* az azonos időpontban mért *veszteségi modulusnak*. A csokoládémassza tehát *elasztikus és viszkózus tulajdonságokkal* is rendelkezik, a *viszkózus jelleg* a fenti ábra szerint *körülbelül kétszerese az elasztikus tulajdonságnak*. A terhelési idő függvényében mindkét modulus csökken, viszonylag hamar elér egy konstans értéket, ahogy a csokoládémassza szerkezete a deformáció hatására kismértékben átrendeződik, majd állandósul.

A tárolási és veszteségi modulusokból értelmezett **komplex viszkozitás** időbeli változása figyelhető meg a **31. ábrán**. A viszkozitás értéke – számításából adódóan – a modulusokkal megegyezően kezdeti csökkenést majd **konstans** értéket mutat. A görbéket 2-2 párhuzamos mérés átlagából határoztam meg.



**31. ábra.** A CB -, CBE - és CBI - masszák időfüggő komplex viszkozitása

A három csokoládémassza időbeli változását vizsgálva megfigyelhető, hogy a **CB - massa komplex viszkozitása a legnagyobb**, a **CBE - illetve a CBI - masszák** valamennyivel **kisebb** értéket mutatnak. Egzakt statisztikai összehasonlítást azonban elegendő mérési eredmény hiányában nem végeztem.

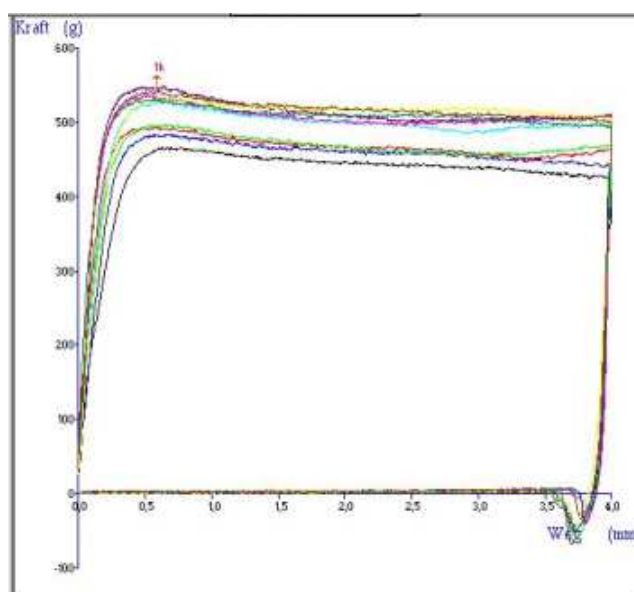
Az időfüggő roncsolásmentes oszcillációs vizsgálatok paraméterei, a konstans modulusok és a konstans komplex viszkozitás, alkalmasak lehetnek a csokoládémassza struktúrájának reológiai jellemzésére a terhelő feszültség kis deformációt előidéző tartományában.

## 5.2 A szilárd csokoládé állományjellemzői

### 5.2.1 A csokoládé hőállóképessége

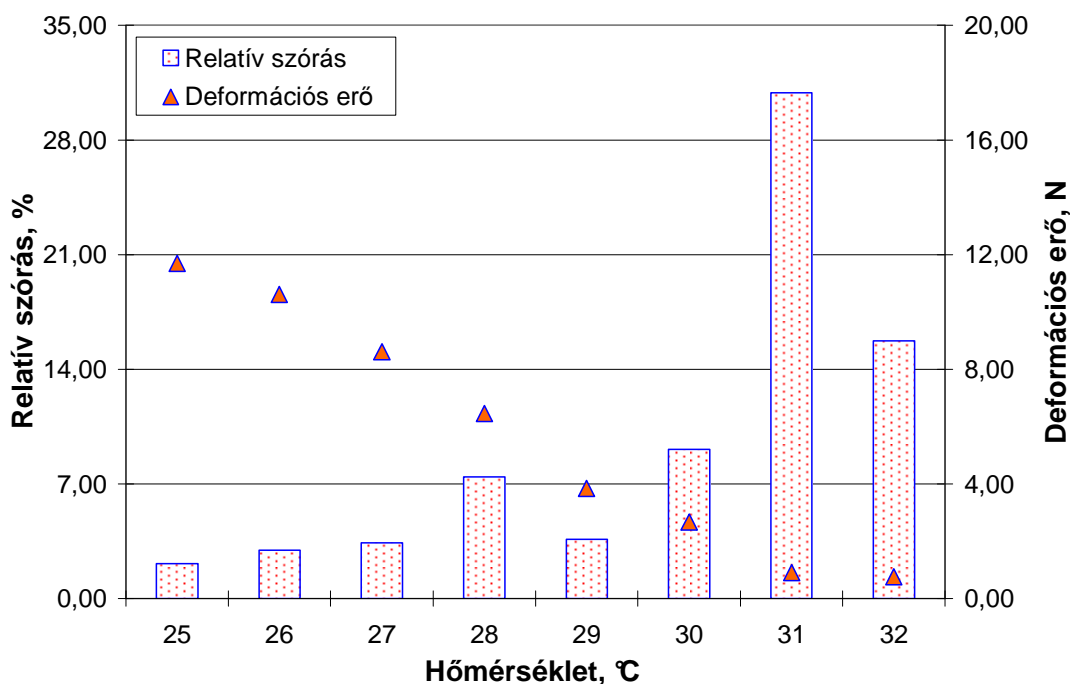
A csokoládé hőállóképességének meghatározásakor a  $25-32^{\circ}\text{C}$  közötti hőmérséklet tartományban penetrometriás módszerrel, 2mm átmérőjű nemesacél hengerrel 4mm-es behatolási mélység (deformáció) mellett, fokanként mértem a penetráció során fellépő *maximális deformációs (terhelő) erőt*.

A **32. ábrán** látható a csokoládé *reogramj*ának, a *terhelő erő - deformáció* jelleggörbének egy példája. A deformációs/terhelő erő már nagyon kis behatolási mélység (kb. 0,2mm) elérésekor – ahol a szenzor teljes felülete érintkezik a mintával – felveszi maximumát, s ezt követően a behatolás végéig kis csökkenéssel csaknem állandó értéken marad, mert a masszív, töltelékmentes táblás csokoládé állománya egynemű.



**32. ábra.** A csokoládé reogramja (terhelő erő - deformáció diagram)

A **33. ábrán** a CB - csokoládén a gyártástól számított 1 hét tárolás (tárolási hely: északi oldal) után elvégzett puhulási kísérlet eredménye látható. A diagramon megfigyelhető a 10 párhuzamos mérés átlagaként számított *maximális deformációs erő* (az egyszerűség kedvéért deformációs erő), és a párhuzamos mérések *relatív szórása* a *hőmérséklet függvényében* ábrázolva.

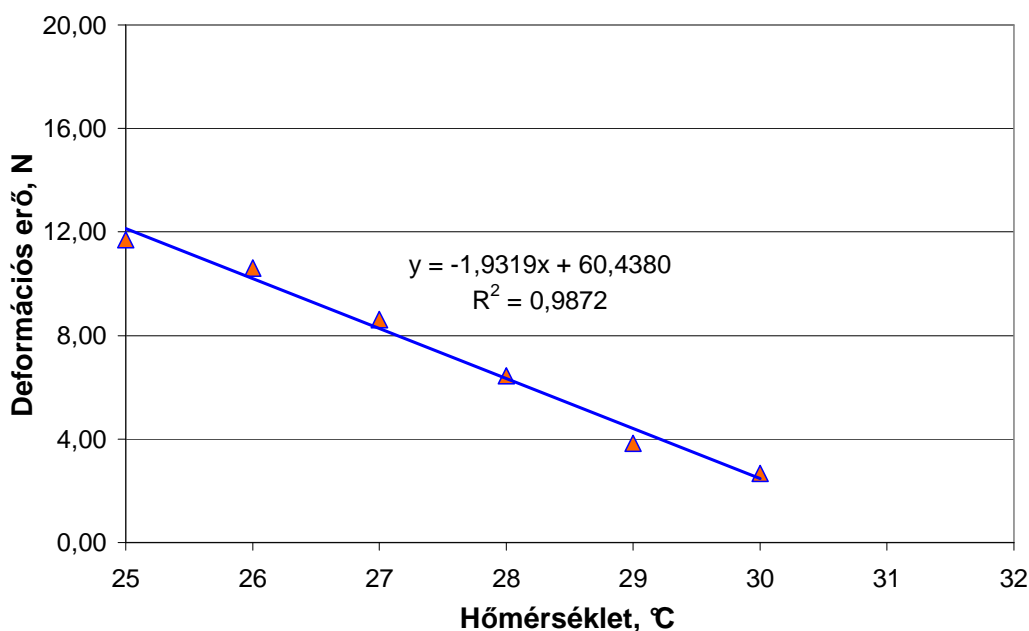


**33. ábra.** A CB - csokoládén mért maximális deformációs erő és annak variációs tényezője a hőmérséklet függvényében 1 hét tárolást követően

A szilárd csokoládé – mint több összetevőből álló komplex rendszer – homogenitása teljesen nem biztosítható, ezért a mérési körülmények figyelembevételével korábbi tapasztalatok alapján a 10% alatti relatív szórást elfogadhatónak ítélttem. A relatív szórások értéke a 25-30°C-ig terjedő mérési tartományban 2,13-9,09% között ingadozik, ennél magasabb (31°C és 32°C-os) hőmérsékleten ugrásszerűen emelkedik. A csokoládé szerkezetében ugyanis fázisátalakulás kezdődik, megindul a kakaóvaj fokozatos olvadása, a szilárd mintán belül vannak már olvadt részek, amelyek a csokoládé konzisztenciáját inhomogénné teszik. Ez okozhatja a magas relatív szórást. A deformációs erő a hőmérséklet emelkedésével határozottan csökken, majd 31°C felett egy kis értéket elérve nem változik jelentősen.

A hőmérséklet és a deformációs erő között egyértelműen *kauzális, ok-okozati* függvénykapcsolat van, mert előbbi (független változó) befolyásolja az utóbbi (függő változó) nagyságát.

A *hőmérséklet és a deformációs erő* közötti *függvénykapcsolat* megállapításához a **34. ábrán** a mért tartományban regressziós egyenest illesztettem a pontokra, feltüntettem az egyenes egyenletét és a determinációs együtthatót. A független változók halmazában a fázisátalakulási folyamat, és a relatív szórás nagysága miatt a 25-30°C közötti értékeket vettem figyelembe.



**34. ábra.** A hőmérséklet és a deformációs erő függvénykapcsolata a 25-30°C hőmérséklet-tartományban

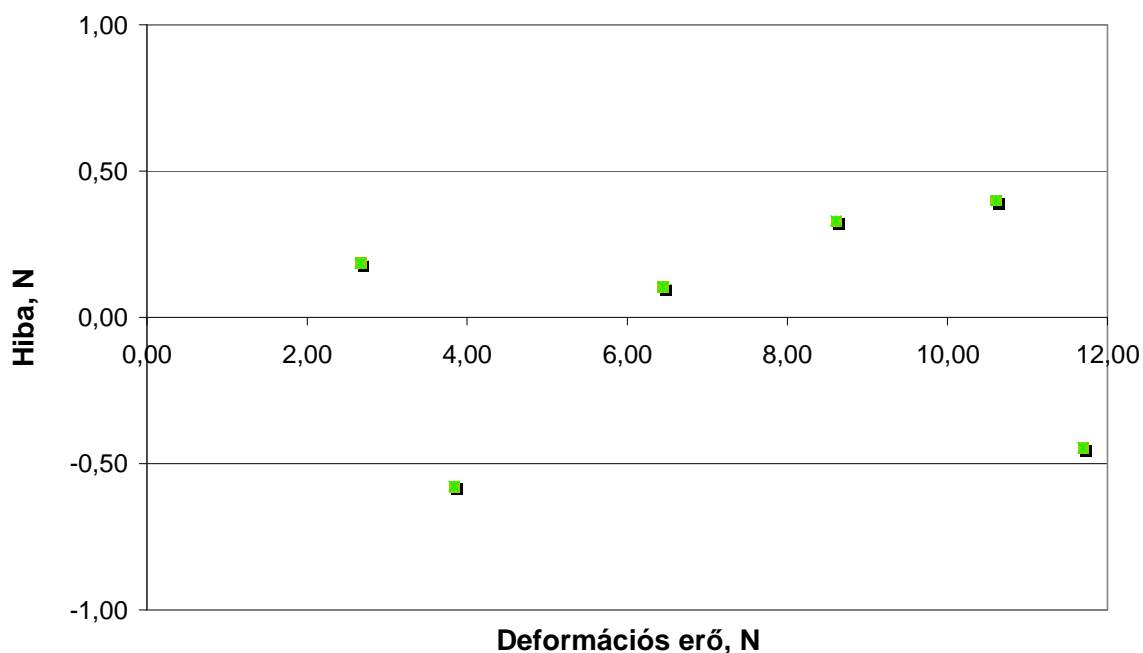
Az eredményekre kapott lineáris közelítés egyenlete:

$$y = -1,9319[N/^{\circ}C] \cdot t + 60,4380[N] \quad (5.2)$$

ahol  $25^{\circ}C \leq t[^{\circ}C] \leq 30^{\circ}C$  a vizsgálati hőmérséklet.

Az *illesztés jóságát* (BARÁTH et al. 1996), vagyis hogy a **lineáris regressziós modell** mennyire jól írja le a függő és a független változó kapcsolatát, az **illeszkedésvizsgálattal** ellenőriztem, amely három összetevőből állt:

1. *Korrelációanalízis, determinációs együttható:* a determinációs együttható a korrelációs együttható négyzete, amely a két valószínűségi változó közötti lineáris összefüggés szorosságát méri. Értéke azt mutatja, hogy a függő változó varianciájának mekkora része magyarázható az X lineáris változásával. Jelen esetben az  $R^2 = 0,9872$  azt fejezi ki, hogy az összes eltérésnégyzet 98,7%-a tulajdonítható a hőmérséklet és a deformációs erő közötti regressziónak. A *modell nagyon jól illeszkedik*.
2. *Rezídum analízis:* a mért pontok és az illesztett egyenes pontjai közötti eltérést (becslési hiba) ábrázoljuk a deformációs erő függvényében (**35. ábra**). A legjobb illesztés során minden hibapont értéke nulla ( $R^2=1$ ), nem követünk el szisztematikus becslési hibát. Ha a hibapontok értéke nem nulla, de elhelyezkedésük véletlenszerű, független X értékétől, nincsen kiugró érték, szinteződés vagy tendencia, akkor az illesztés megfelelő, nem áll fenn autokorreláció.



**35. ábra.** A becslési hibák eloszlása a deformációs erő függvényében

A diagramon látható, hogy a hibák elhelyezkedése véletlenszerű, tendenciát, egyedi kiugró értéket nem figyelhetünk meg. A rezídum analízis grafikus eredménye alapján a *lineáris illesztés elfogadható*.

3. *Durbin-Watson próba*: a rezídumok elsőrendű autokorrelációját állapítja meg. A  $H_0$  nullhipotézis szerint a két változó között nincsen autokorreláció. Ez akkor teljesül teljesen biztosan, ha a Durbin-Watson mutató értéke:  $d=2$ . Ha  $0 < d < 2$ , akkor pozitív, ha  $2 < d < 4$ , negatív autokorrelációról beszélünk. A megfelelő statisztika elvégzése után kapott mutatót a mintaszám és a magyarázó változók alapján a döntési táblázatban meghatározott kritikus értékek alapján értékeljük ki. A kritikus értékek adott tévedési valószínűség mellett az elutasítási és elfogadási tartományok alsó ( $d_L$ ) és felső ( $d_U$ ) határát adják meg. *Nincs autokorreláció, ha a mutató értéke az elfogadási tartományba esik* (pozitív autokorreláció esetén  $d > d_U$  illetve negatív autokorreláció esetén  $d < 4 - d_U$ ), ilyenkor az *illesztett modell elfogadható*. A nullhipotézist elutasítom, ha  $d < d_L$  illetve  $d > 4 - d_L$ , és nem döntök, ha  $d_L < d < d_U$  illetve  $4 - d_L < d < 4 - d_U$ .

A statisztikai számítások elvégzéséhez munkám során a MINITAB® Release 14 statisztikai programcsomagot használtam.

A fenti modellre számolt statisztika szerint a Durbin-Watson mutató értéke:  $d=2,14206$



A minta adatai:

- DF (szabadsági fokok, független változók száma) = 1
- N (elemszám) = 6
- $\alpha$  (tévedési valószínűség) = 0,05

A táblázatból meghatározott kritikus értékek:  $d_L=0,61$  és  $d_U=1,4$

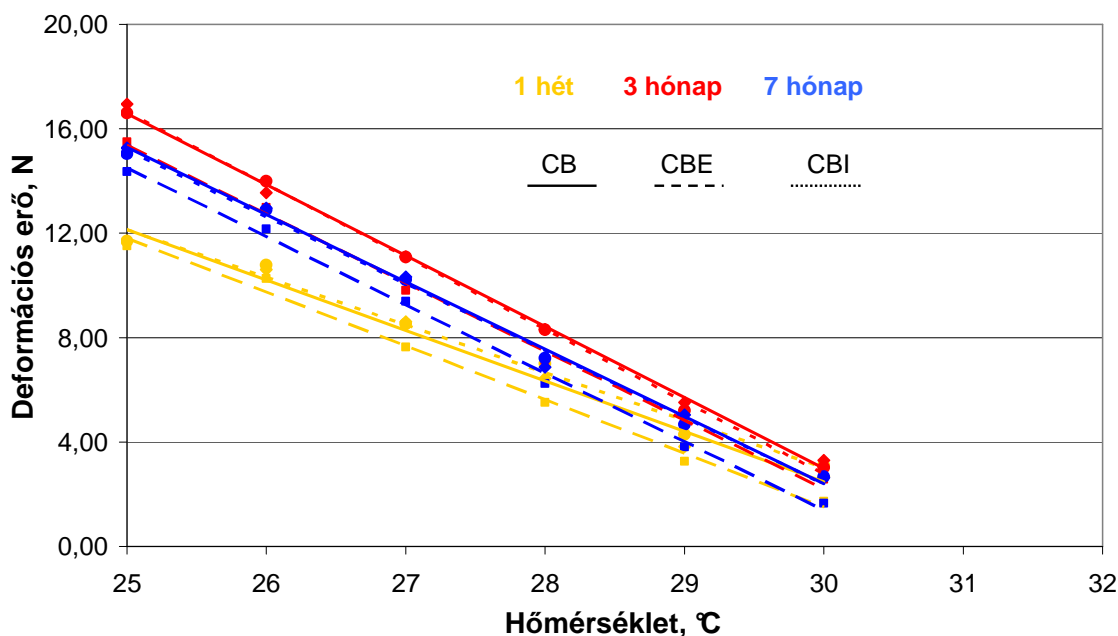
Mivel  $2,14206 > 1,4$ , a nullhipotézist (nincsen autokorreláltság) a Durbin-Watson statisztika alapján elfogadjuk, a modell illesztése során nem vittünk be szisztematikus hibát, a **lineáris regressziós modell megfelelő**.

A hőállóképesség témakörében végzett hőmérséklet - deformációs erő vizsgálatokat kiterjesztettem a **különböző összetételű, más-más ideig tárolt** csokoládémintákra. A CB -, CBE - és CBI - csokoládék hőállóképességének regressziós egyeneseit összehasonlítottam:

- 1 hét, 7 hét,
- 3 hónap, 4 hónap, 5 hónap, 6 hónap, 7 hónap és 8 hónap

tárolási idők elteltét követően.

A sok függvény egy diagramban történő ábrázolása azonban áttekinthetetlen, ezért **36. ábrán** történő bemutatáshoz kiválasztottam az 1 hét, 3 hónap és 7 hónap tárolási időket követő vizsgálatokat.



**36. ábra. A CB -, CBE - és CBI - csokoládék deformációs erőinek csökkenése a hőmérséklet függvényében 1 hét, 3 és 7 hónap tárolási idők után**

Az illesztett regressziós egyenesek statisztikai vizsgálata a fentiekhez hasonlóan elfogadható eredményt hozott. Az egyenesek összehasonlításakor látható, hogy az *1 hét tárolási idő elteltével* a

három egyenes tengelymetszete kisebb, ennek oka valószínűleg az, hogy az előállítást követő 1 hét tárolási idő alatt a *csokoládéminták kristályosodása nem zajlott le* teljes mértékben, azok puhábbak maradtak. A 3 hónap és a 7 hónap közötti különbségeket a minták eredményeinek szórása, illetve a mérési körülmények befolyásolhatták.

Az 1 hét és 3 hónap tárolási idők után a CBE - csokoládé egyeneseseinek tengelymetszete kicsivel elmarad a CB - és CBI - mintákétól, azok majdnem egybeesnek, a CBE – csokoládé puhább. Ezt a megállapítást azonban nem lehet általánosítani, mert a különböző tárolási idők után elvégzett tesztek nem mindegyike igazolta.

A CB -, CBE - és CBI - csokoládékra egyaránt kijelenthető, hogy a különböző tárolási időket követő hőállóképességre vonatkozó kísérletek során a hőmérséklet - deformációs erő mérési pontokra a vizsgált hőmérséklettartományban regressziós egyenes illeszthető. A **lineáris regressziós összefüggés** a **vizsgált hőmérséklettartományban** 95%-os megbízhatósági szinten egyértelműen **leírja** a csokoládéminták keménységét jellemző **maximális deformációs erő változását a hőmérséklet függvényében**. Ezzel meghatározható a csokoládé **hőállóképessége**.

A *regressziós egyenes egyenletének* paramétereit a legkisebb négyzetek kritériuma alapján becsüljük, általános képlete így írható fel:

$$Y_i' = b_0 + b_1 \cdot X_i \quad (5.2)$$

ahol:

$Y_i'$  regressziós egyenlettel becsült i-ik adatpár Y értéke,

$X_i$  i-ik adatpár X értéke,

$b_1$  regressziós együttható (meredekség),

$b_0$  regressziós állandó (tengelymetszet).

A lineáris regressziós modellből meghatározható a regressziós együttható és a regressziós állandó, amelyek az illesztett egyenes meredekségét és tengelymetszetét leíró paraméterek. A lineáris meredeksége információt ad a csokoládé hőállóképességéről. Minél nagyobb a meredekség, annál intenzívebb a csokoládéminta puhulása. A **36. ábra** illesztett egyeneseseinek meredeksége -2,7738 és -1,8261 és a tengelymetszete  $x=25^\circ\text{C}$ -on 11,52 és 16,94 értékek között változik.

A vizsgálataim alapján a **szilárd csokoládék hőállóképességének jellemzésére alkalmas** az adott paraméterek (összetétel, tárolás, kísérleti elrendezés stb.) mellett meghatározott hőmérséklet - deformációs erő méréspontjaira illesztett regressziós egyenes **regressziós együtthatója és regressziós állandója**.

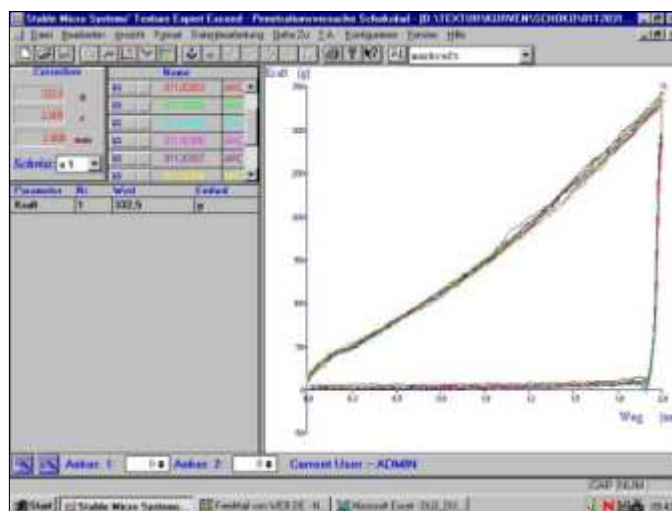
A nagyon jó lineáris közelítés dacára – fizikai megfontolásból – célszerű megfontolni az alábbiakat:

Melegítés hatására a csokoládémassza szuszpendáló közegében, amely döntően kakaóvaj, a szilárd fázis kárára növekszik a folyékony fázis részaránya. Ezt fejezi ki a kakaóvaj jó ismert SFC (Solid Fat Content) - görbéje, amely a szilárd fázis m/m%-át mutatja a hőmérséklet függvényében. Ez sigmoid-típusú görbe. A kakaóvaj SFC-görbéjének inflexiós pontja kb. 30°C-nál van, és ennél magasabb hőmérsékleten már meredeken csökken a szilárd fázis aránya (MOHOS 2010). Az értekezésben vizsgált hőmérséklet-intervallumban (25-30°C) a csokoládé keménysége még kis relatív szórással mérhető, bár a 30°C felső határnak tekinthető. Mondhatjuk tehát, hogy a fentiekben bemutatott lineáris kapcsolatot mind a 25-26°C-os értékeknél, mind pedig a 29-30°C-os értékeknél a sigmoidra jellemző görbületek módosítják, de amíg a csokoládében lévő kakaóvaj-közeg kellően szilárd, a lineáris kapcsolat tekinthető jellemzőnek.

Méréseimet a 25-30°C hőmérséklettartományban végeztem, de feltételezésem szerint a lineáris regressziós modell alacsonyabb hőmérsékleti értékekre is kiterjeszthető egészen addig, amíg a kakaóvaj és a növényi zsírok kristályszerkezetében fázisátalakulás nem megy végbe. Ez a feltételezés azonban további statisztikailag igazolt vizsgálatokat igényel.

### 5.2.2 A csokoládé keménysége

A szilárd csokoládé keménységének mérésére a Texture Analyser nemesacéltű mérőfejével penetrometriás vizsgálatokat végeztem, amelyek során meghatároztam a minták regoramját (37. ábra), a terhelő erő - deformáció diagramját.



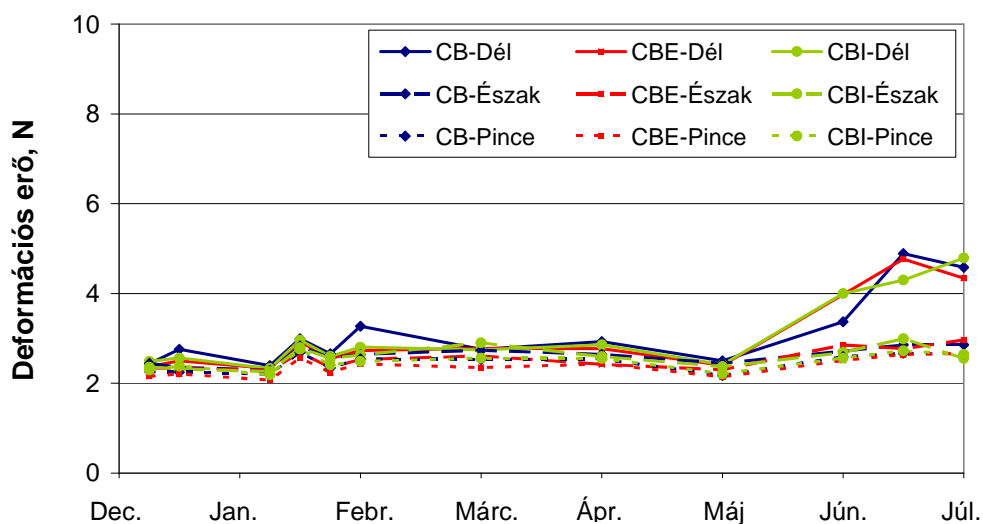
37. ábra. Szilárd csokoládé terhelő erő - deformáció jelleggörbéje

A reogram (37. ábra) tíz párhuzamos mérés jelleggörbéit ábrázolja. A deformációs vagy terhelő erő értéke a deformáció során folyamatosan emelkedik, és az előre meghatározott legnagyobb deformációnál (2mm) éri el maximumát. A mérőeszköz a nemesacélú érintkezési felületét  $0\text{mm}^2$ -ben definiálja, feltételezésem szerint azonban a behatolás folyamán a mérőfej egyre nagyobb felületen érintkezik a mintával folyamatosan növelve annak deformációval szemben kifejtett ellenállását. Ezért tapasztalható a terhelő erő folyamatos növekedése a csokoládé homogén állománya ellenére.

A penetrometriás tesztek segítségével vizsgáltam a **különböző összetételű, eltérő körülmények között tárolt csokoládék tárolási idő hatására bekövetkező keménységváltozását**. A mérések során fellépő, a szobahőmérséklet ingadozásaiból (évszakok változása) fakadó hőmérsékletkülönbségeket a csokoládék hőállóképességével kapcsolatos vizsgálatok során feltárt összefüggések felhasználásával korrigáltam. A keménységet a párhuzamos mérések átlagából meghatározott maximális deformációs erővel jellemeztem.

### 1.) Tárolási vizsgálat – 8 hónap (IV. gyártás, minták előállítás: 2003. december)

Kezdetben heti majd havi gyakorisággal vizsgáltam a december hónap elsején előállított, déli és északi oldalon illetve a pincében tárolt CB -, CBE - és CBI - csokoládék keménységének változását a tárolási idő függvényében (38. ábra).



**38. ábra. Az eltérő körülmények között tárolt CB -, CBE - és CBI – csokoládék maximális deformációs erőinek változása a tárolási idő függvényében**

A görbék lefutása alapján a téli hónapban előállított csokoládéminták keménysége 6 hónapon keresztül, függetlenül a tárolási körülményektől, csaknem azonos mértékben és csak kismértékben változik. Észrevehető, hogy *mindhárom csokoládémintánál a déli oldalt* jellemző folytonos vonalak

jeleznek kismértékben *nagyobb keménységet*, ennél valamivel *kisebb keménységet* mutatnak az *északi oldalt* leíró szaggatott vonalak, és a *legkisebb keménységet* mutatják a *pincét* jelentő pontvonalak. A *keménység-értékekben nagyobb változást* a *7 hónap tárolás után júniusban* mért eredményekben tapasztalhatunk, a *déli oldalon* elhelyezett minták *sokkal keményebbnek* bizonyultak az északi oldalon és a pincében tároltaknál. A hangsúly azonban elsősorban nem a tárolás során eltelt időn, hanem a beköszöntő nyári évszakon van, erre később kapunk magyarázatot.

Az *összetétel, tárolási körülmények és tárolási idők* okozta *azonosságok* és *különbségek* feltárására kéttényezős és egytényezős *varianciaanalízist* alkalmaztam 95%-os megbízhatósági szintet véve. A varianciaanalízis a populációk középértékeinek minták alapján történő összehasonlítására szolgál. Azt vizsgálja, hogy a minták középértékei között a *kezelés okozta variancia a nagyobb, vagy a mintavételezésből származó véletlen különbségek okozta csoporton belüli variancia* (hibavariancia). A  $H_0$  hipotézis szerint a populációk középértékei, amelyekből a minták származnak, azonosak. A  $H_1$  alternatív hipotézis kimondja, hogy a minták között van legalább kettő olyan, amelyek középértékei nem azonosak. A nullhipotézisre vonatkozó döntést a szórásnégyzetek összehasonlítására szolgáló F-próba segítségével hozzuk meg. A kísérlet során azt vizsgáltam, hogy a kezelések (összetétel és tárolási körülmények) befolyásolják-e a minták középértékét, vannak-e valamilyen hatással a minták keménységére.

A *varianciaanalízis-modellt validálni* kell, alkalmazásakor bizonyos kiindulási feltételeket ellenőrizni szükséges:

1. *Független minták*: a kísérleti elrendezéssel és a véletlenszerű mintavétellel apriori biztosítható,
2. *Normális eloszlású populációk*: a feltétel teljesülése a minták alapján, a hibakomponensek hisztogrammal vagy derékszögű koordináta-rendszerben történő ábrázolással ellenőrizhető,
3. *Varianciák azonossága*: a populációk varianciája azonosnak tekinthető, ha kb. azonos elemszámú minták esetén a mintákban a legnagyobb variancia kisebb, mint a legkisebb variancia kétszerese.

Amennyiben a varianciaanalízis eredménye a nullhipotézist elutasította – a kezelés hatására a minták között van legalább kettő, amelyek középértéke nem azonos –, a *középértékek többszörös összehasonlításával* megtudhatjuk, mely minta vagy minták tér(nek) el a standard (kontroll vagy kezeletlen) mintától, melyik kezelés okozott szignifikáns hatást. A *szignifikáns differencia* az a határ, amely alatt a középértékek különbsége még a mintavételezés okozta véletlennek tekinthető,

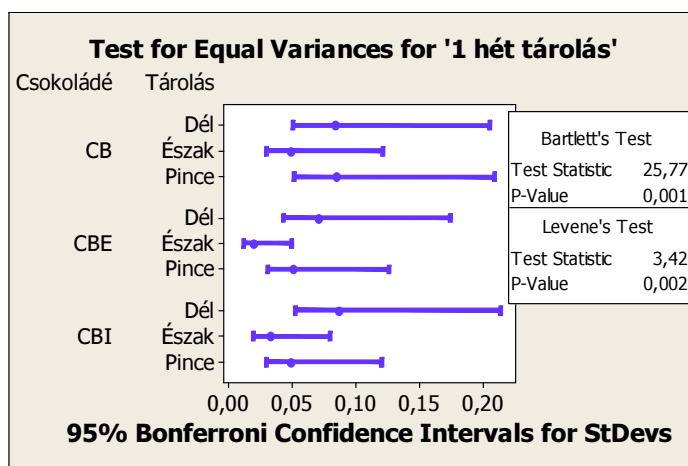
és amely felett a különbség már szisztematikus, a kezelés okozza. A szignifikáns differencia során a kezelt mintákat a kezeletlen (standard) mintához hasonlítjuk. A  $H_0$  hipotézis szerint a két minta középértéke azonos, amelyről intervallumbecsléssel döntünk. A nullhipotézist akkor fogadjuk el, ha a zérus (0) érték a minták kontrollhoz viszonyított, becsült konfidencia-intervallumába beleesik.

Összehasonlítottam **38. ábrán** szereplő, *különböző összetételű, és különböző körülmények között tárolt* csokoládéminták *keményiségét 1 hét és 8 hónap tárolás után*. Ahhoz, hogy az összetétel és a tárolási körülmények, mint kezelési tényezők, hatását együttesen vizsgálhassam, kéttényezős varianciaanalízist terveztem alkalmazni.

#### A.) Összehasonlítás 1 hét tárolás után

A kéttényezős varianciaanalízis alkalmazhatóságának megállapításához a modellt a vizsgálat elvégzése előtt validáltam. Első lépésként elvégeztem a varianciák azonosságát vizsgáló Bartlett-féle tesztet, amelyet a **39. ábra** mutat be.

Az ábrán grafikusán ábrázolt Bonferroni konfidencia-intervallumok elhelyezkedéséből is látható, hogy vannak olyan minták, amelyek középértéke nem esik bele minden konfidencia-intervallumba. Ezt az eredményt erősíti meg a Bartlett-teszt, amelynek p értéke kisebb, mint a választott  $\alpha$  tévedési valószínűség ( $0,001 < 0,05$ ), ezért a varianciák azonosságára vonatkozó  $H_0$  hipotézist elutasítjuk. A 9 minta együttes vizsgálatára a *kéttényezős varianciaanalízis nem alkalmas*.

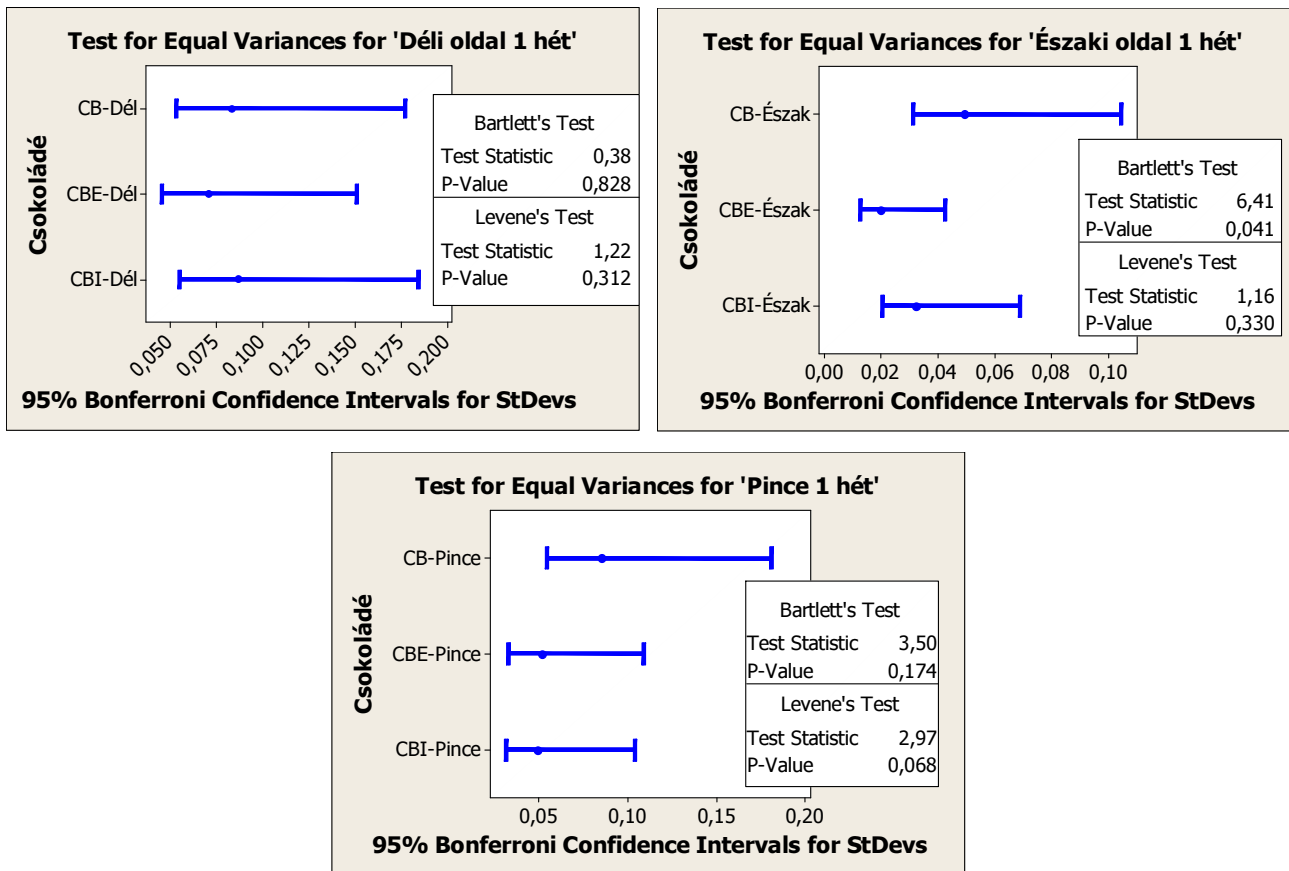


**39. ábra.** A deformációs erők varianciaazonossági tesztje 1 hét tárolás után

A két tényezőt szétválasztva elsőként tárolási helyenként vizsgáltam az összetétel keménységre gyakorolt hatását egytényezős varianciaanalízissel

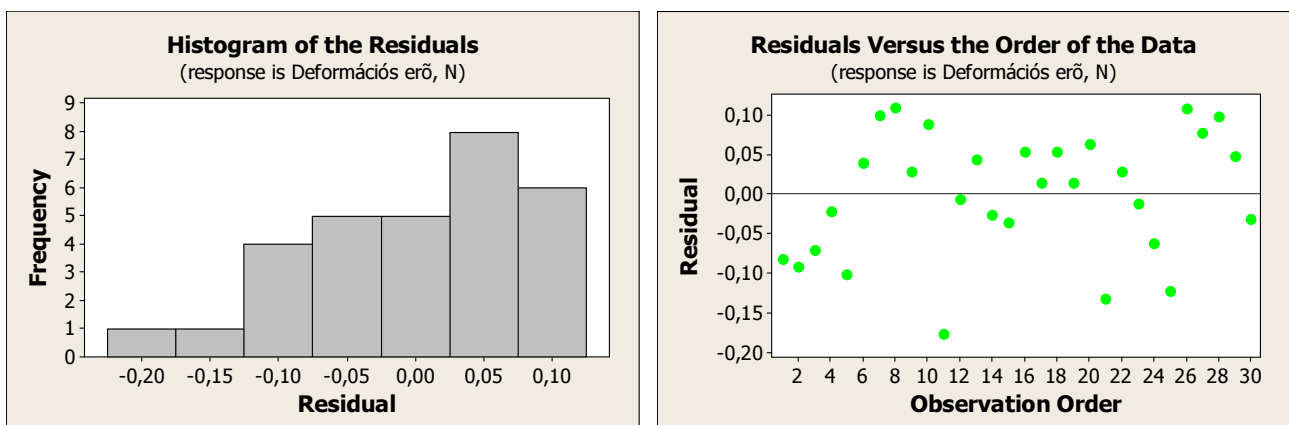
Az egytényezős varianciaanalízis-modellek validálásakor ugyanúgy elvégeztem a varianciák azonosságára vonatkozó tesztet a különböző tárolási helyekre (**40 ábra**). A déli oldalon és a pincében tárolt minták Bartlett-tesztje variancia-azonosságot mutat, ezekre elvégezhető az egytényezős

varianciaanalízis. Az északi oldalon tárolt minták Bartlett-tesztje szerint a minták varianciája eltér, így ezek nem értékelhetők varianciaanalízissel.



**40. ábra.** A déli és északi oldalon, illetve a pincében tárolt minták deformációs erőinek varianciaazonossági tesztje 1 hét tárolás után

A varianciaanalízis-modell validálása magában foglalja a *hibakomponensek elhelyezkedésének vizsgálatát* is. A *déli oldalon* tárolt minták hibakomponenseinek hisztogramját és derékszögű koordináta-rendszerben ábrázolt elhelyezkedését a **41. ábra** mutatja be.

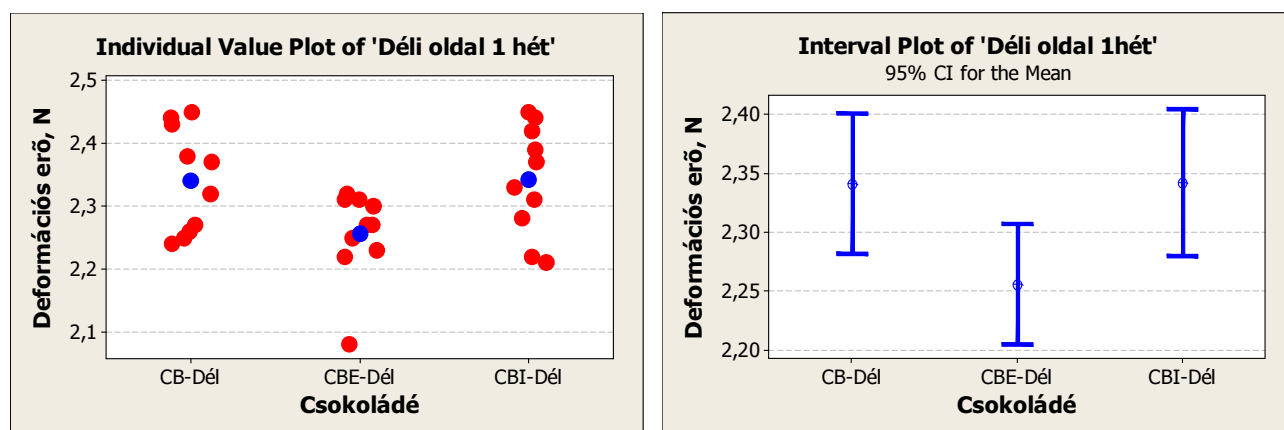


**41. ábra.** A déli oldalon tárolt minták hibakomponenseinek elhelyezkedése 1 hét tárolás után

A rezídumok hisztogramja nem egyértelműen a normális eloszlás ideális hisztogramjának képét mutatja, de a hibakomponensek elhelyezkedése véletlenszerű, nem mutat tendenciát, ezért a populációk eloszlását normálisnak tekintem. A déli oldalon tárolt mintákra az összes feltétel teljesülése mellett elvégezhető az egytényezős varianciaanalízis.

A varianciaanalízis eredményeként kapott F-próba értékét (3,75) a kritikus  $F^*$ -próbastatisztikával (3,35) összehasonlítva kapjuk, hogy  $F > F^*$ , vagyis a *déli oldalon tárolt minták keménysége között 1 hét tárolás után szignifikáns a különbség*. Erre utal a varianciaanalízis p értéke (0,037) is, amely a tévedési valószínűségnél kisebb értéket vesz fel, ezért a középértékek azonosságát állító nullhipotézis elutasítását determinálja.

A minták egyedi mérési eredményeit és a középértékek konfidencia-intervallumait grafikusán ábrázolva jól szemléltethető a különbség (42. ábra). A diagramokat megfigyelve a CB - és a CBI - csokoládék középértékeinek azonosságát gyanítjuk, a CBE - csokoládé jelentősen puhábbnak látszik. Ennek igazolására egy többszörös középérték-összehasonlítási módszert, a Dunnett-féle eljárást alkalmaztam, amelynek során a standard CB - csokoládé középértékéhez hasonlítottam a kezelt CBE - és CBI - minták keménységét.



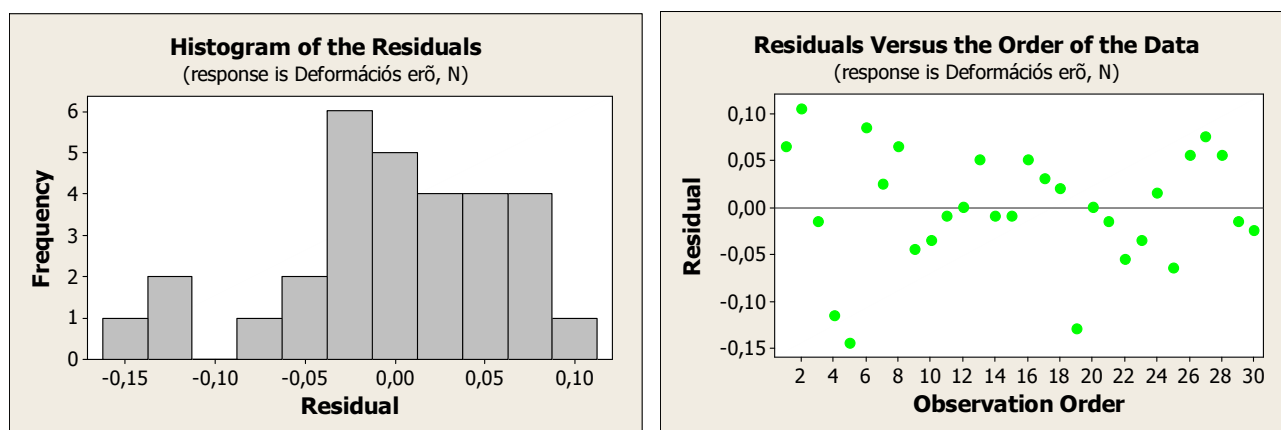
**42. ábra. A déli oldalon tárolt csokoládémintákon mért deformációs erők és a deformációs erők konfidencia-intervallumainak elhelyezkedése 1 hét tárolás után**

A Dunnett-féle eljárás eredménye megegyezik a diagramok alapján jóslatokkal, a *CBI - csokoládé* kontrollhoz viszonyított konfidencia-intervallumában szerepel a zérus, *keménysége nem különbözik szignifikánsan a CB - csokoládétól*, viszont a *CBE - csokoládé* keménység-átlagának a kontrollhoz viszonyított különbsége azonos előjelű (negatív), ezért *szignifikánsan puhább a másik kettőhöz képest*.

Összefoglalva a déli oldalon tárolt csokoládéminták keménysége 1 hét tárolás után az összetétel szerint különbözik, a CB - és a CBI - mintáknál szignifikánsan puhább a CBE - csokoládé.



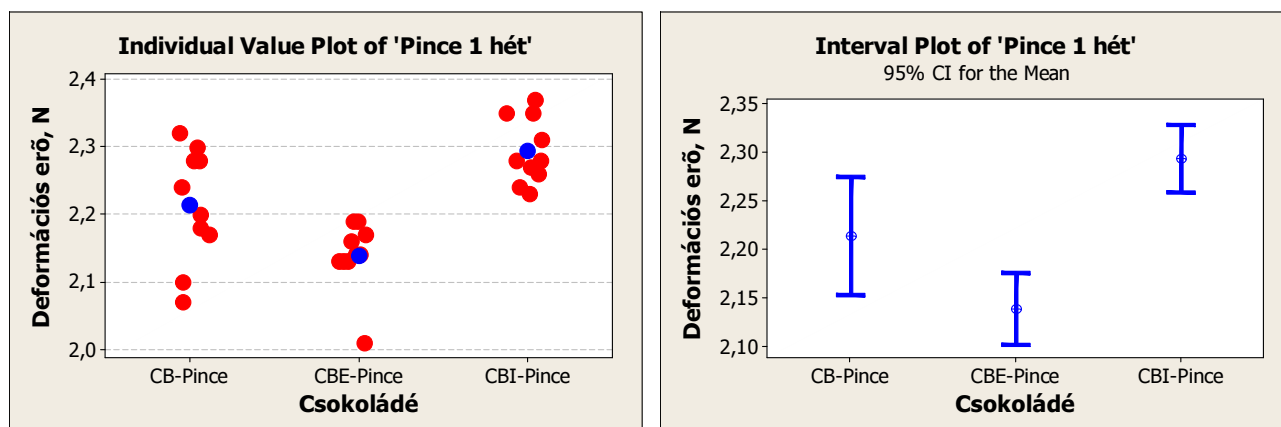
A *pincében tárolt* minták esetében a varianciaanalízis-modell validálását a **43. ábrán** látható hibakomponensek grafikus elemzésével végeztem el.



**43. ábra.** A *pincében tárolt* minták hibakomponenseinek elhelyezkedése 1 hét tárolás után

A pontdiagram a hibakomponensek véletlenszerű, tendenciától, kiugró értékektől mentes elhelyezkedését szemlélteti, ezek alapján a populációk normális eloszlásúnak tekintendők. A varianciaanalízis elvégzése után az F-próbára egy viszonylag nagy értéket kaptam (14,75), amely sokszorososa a kritikus  $F^*$ -próbastatisztika értékének (3,35). Ez a középértékek nagyon erős szignifikáns különbségét jelzi. Az értékelő táblázat  $p=0,000$  értéke is azt mutatja, hogy a középértékek egyezőségét kijelentő nullhipotézis teljesülésének semmi (0%) esélye nincsen, a *pincében tárolt minták keménysége 1 hét után a déli oldalhoz hasonlóan szignifikáns különbségeket mutat*.

A **44. ábrán** látható egyedi értékeket és a középértékek konfidencia-intervallumait tekintve megfigyelhető a három minta különbsége.



**44. ábra.** A *pincében tárolt* csokoládémintákon mért deformációs erők és a deformációs erők konfidencia-intervallumainak elhelyezkedése 1 hét tárolás után

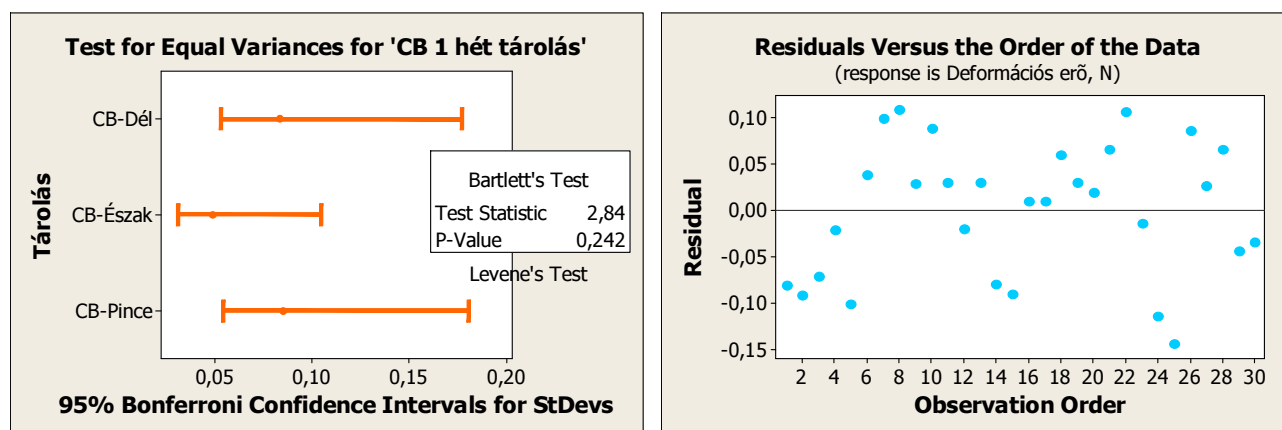
A Dunnett-féle eljárás végrehajtása után azt kaptam eredményül, hogy standard CB - csokoládéhoz viszonyított konfidencia-intervallumok egyike sem tartalmazza a zérust. A CBE - minta in-

tervállumának határai negatív előjelűek, míg a CBI - minta konfidencia-intervalluma csak pozitív értékeket tartalmaz.

Tehát a pincében tárolt csokoládék keménysége 1 hét tárolás után szignifikánsan különbözik, a CBE - minta puhább, a CBI - minta keményebb a csak kakaóvaját tartalmazó CB - csokoládénál.

A másik kezelési tényező, a tárolási hely hatását az adott összetételű mintára nézve szintén egytényezős varianciaanalízissel ellenőriztem.

A különböző körülmények között tárolt (déli oldal, északi oldal és pince) CB -, CBE - és CBI - csokoládémintákra elvégeztem a varianciaanalízis-modellek validásakor szükséges varianciák azonosságára vonatkozó vizsgálatot. A Bartlett-tesztek eredménye szerint csak a CB - minták varianciája azonos (**45. ábra**), ezért a CBE - és a CBI - csokoládékra 1 hét tárolás után nem végezhető el az egytényezős varianciaanalízis.



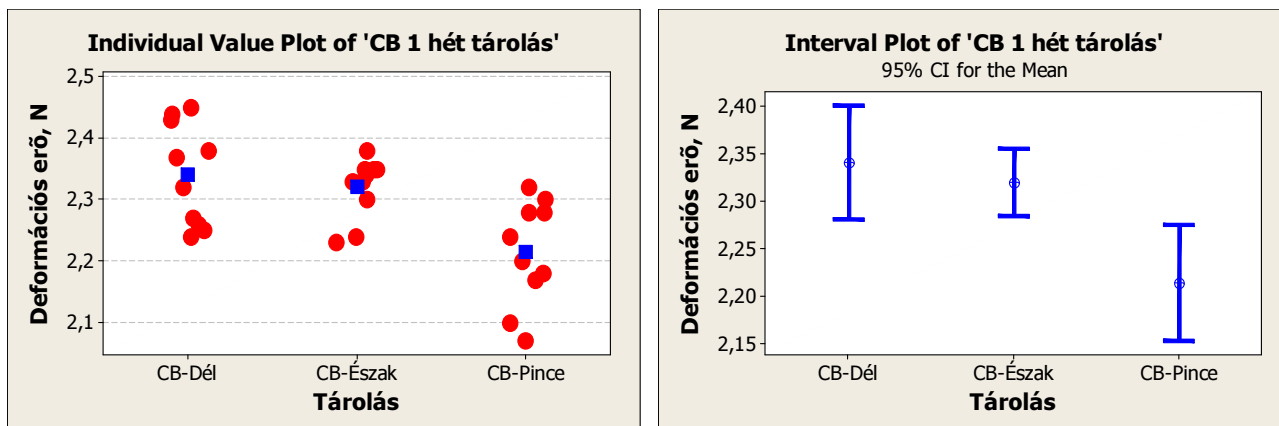
**45. ábra. A CB - csokoládé deformációs erőinek varianciaazonossági tesztje és a rezídumok elhelyezkedése 1 hét tárolás után**

A rezídumok elhelyezkedése alapján (**45. ábra**) a CB - csokoládé populációja normális eloszlásúnak tekinthető.

A varianciaanalízist elvégezve az F-próbára kapott 8,38-as érték jóval nagyobb a kritikus  $F^*$ -próbastatisztika 3,35-ös értékénél, eszerint a CB - csokoládé a déli oldalon, északi oldalon és a pincében 1 hétig tárolt mintáinak keménysége között szignifikáns különbség van. Ezt a tényt erősíti meg nullhipotézis teljesülésének valószínűségére kapott 0,1%-os eredmény.

Az egyedi értékek elhelyezkedését és a középértékek konfidencia-intervallumait grafikusan összehasonlítva (**46. ábra**) látható, hogy a pincében tárolt CB - minta keménysége jóval kisebb értékeket vesz fel, mint a másik két helyen tárolt minták esetében. A Dunnett-féle statisztikai elemzés ezt megerősíti, a déli és az északi oldalon tárolt minták keménysége azonosnak tekintendő, a pincében tárolt minta szignifikánsabb puhább a másik kettőnél. Feltételezésem szerint ennek oka lehet,

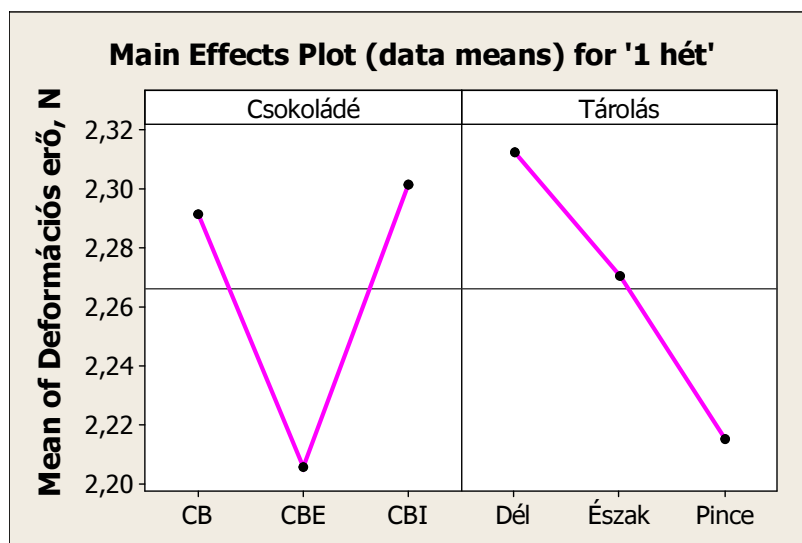
hogy a tárolási körülmények (fűtetlen, decemberben extrém hűvös, 12°C-ok körüli) hatására a pincében tárolt csokoládé gyártást követő utókristályosodása más ütemben zajlott, mint a déli és az északi oldalon tárolt mintáké. Ezt a feltételezést a mintákon végzett DSC - mérésekkel lehet igazolni vagy cáfolni a csokoládé kristályosodott állapotát ellenőrizve.



**46. ábra.** A CB - csokoládémintákon mért deformációs erők és a deformációs erők konfidencia-intervallumainak elhelyezkedése 1 hét tárolás után

A CB - csokoládé keménységét befolyásolja a tárolási hely, a déli és az északi oldalon tárolt minták középértéke nem különbözik egymástól, a pincében tárolt minta szignifikánsan kisebb keménységet mutatott.

A két tényező (összetétel és kezelés) együttes hatását kéttényezős varianciaanalízissel a variációk különbözősége miatt nem lehet meghatározni, de a grafikus ábrázolás (47. ábra) az eddigi tapasztalatok szerint előrejelzi a statisztikai próba eredményét.



**47. ábra.** Az összetétel és a tárolási körülmények hatása a deformációs erőre 1 hét tárolás után

A grafikus ábrázolás alapján a minták keménységét 1 hét tárolást követően a mintához képest (CB) negatívan befolyásolja a CBE - típusú összetétel és a pincében történő tárolás, pozitív irányban meghatározza a CBI - típusú összetétel és a déli oldalon való elhelyezés.

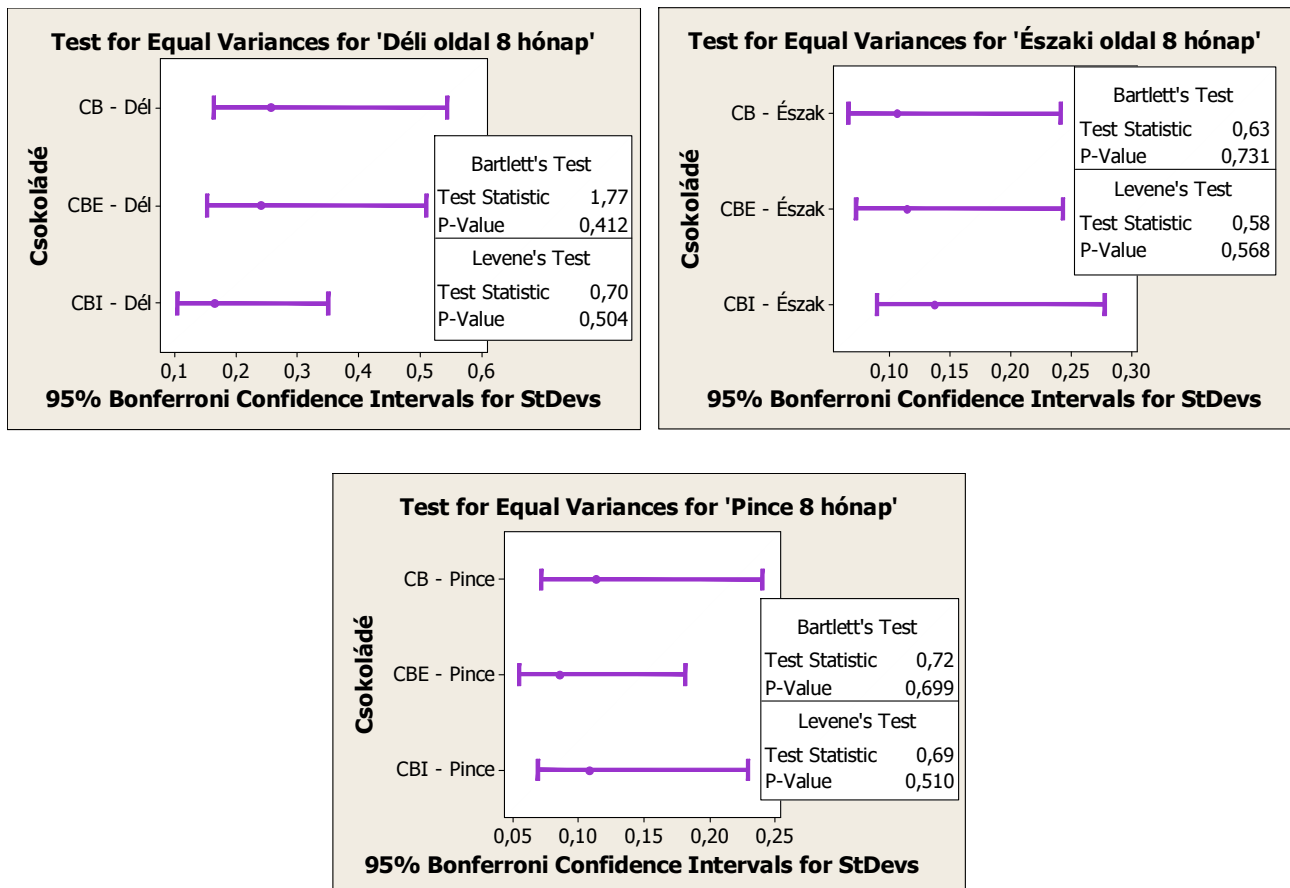
Az 1 hét tárolás után végzett penetrometriás vizsgálatok tapasztalatait összefoglalva elmondható:

- a varianciák azonosságra vonatkozó feltétel nem minden esetben teljesül, ezért a minták statisztikai összehasonlítása varianciaanalízissel nem mindig lehetséges,
- az összetevők hatását tárolási helyenként vizsgálva megállapítható, hogy a déli oldalon és a pincében tárolt minták keménysége szignifikánsan különbözik,
- a déli oldalon tárolt minták közül a CBE - csokoládé igazoltan puhább a CB - és a CBI - mintáknál,
- a pince tárolási körülményeinek hatására a CBE - csokoládé keménysége szignifikánsan kisebb, a CBI - csokoládé keménysége nagyobb, mint a standard CB - mintáé,
- a tárolási körülmények hatását a CB - csokoládé esetében vizsgálva az tapasztalható, hogy a pincében tárolt csokoládé szignifikánsan puhább a déli és az északi oldalon elhelyezettekénél,
- a két kezelési tényező, az összetétel és a tárolási körülmények együttes grafikus ábrázolása megmutatja, hogy a keménységet csökkentti a CBE - mintában alkalmazott növényi zsír jelenléte és a pincében történő tárolás, a keménységet növeli a CBI - minta növényi-zsír tartalma és a déli oldal magasabb hőmérséklete

### **B.) Összehasonlítás 8 hónap tárolás után**

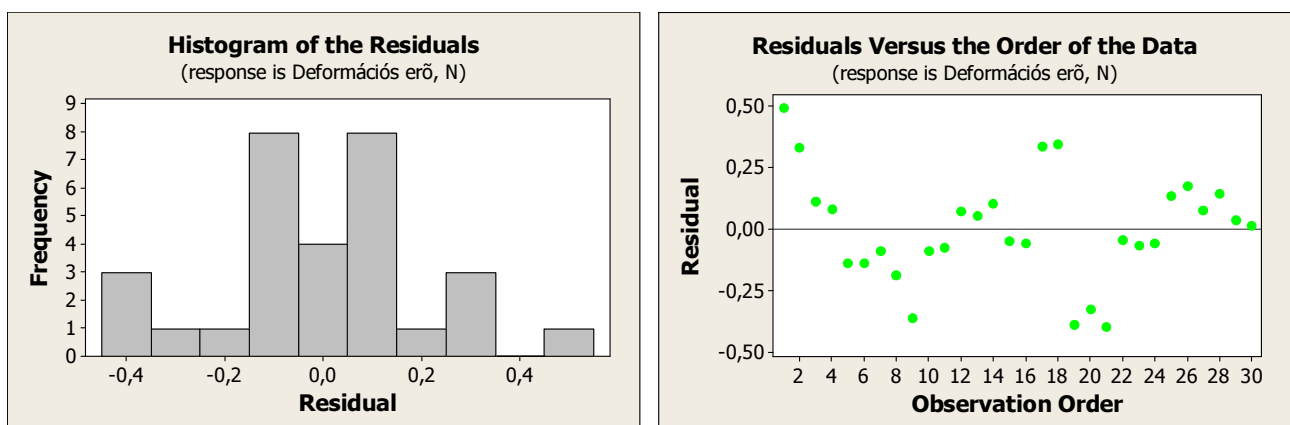
A 38. ábrához visszatekintve az utolsó mérési pontokat július végén, 8 hónapos tárolást követően határoztam meg. Az eredmények elemzésére a kéttényezős varianciaanalízis itt sem volt elvégezhető a varianciák azonosságára vonatkozó hipotézis elutasítása miatt.

Egytényezős varianciaanalízissel vizsgáltam az összetétel, mint kezelés hatását a különböző tárolási körülmények között elhelyezett csokoládéminták esetében. A varianciaanalízis-modellek alkalmazhatóságát a Bonferroni konfidencia-intervallumok grafikus ábrázolásával és a Bartlett-féle tesztek elvégzésével vizsgáltam (48. ábra). A statisztikai elemzés szerint a déli, az északi oldalon és a pincében tárolt mintákra is kimondható a varianciák azonossága, a nullhipotézis teljesülésének valószínűségét meghatározó p értékek nagysága rendre 0,412; 0,731 és 0,699.



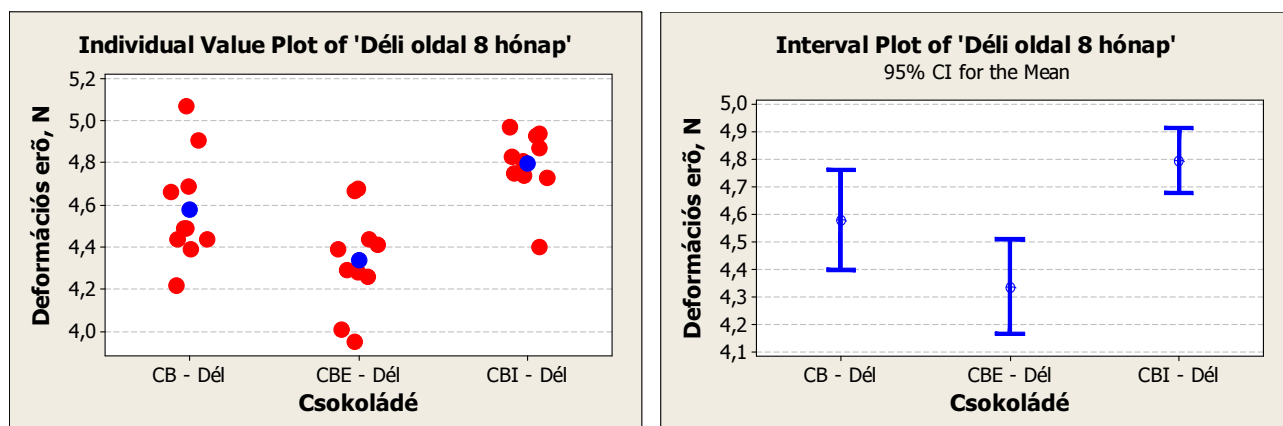
**48. ábra.** A déli és északi oldalon, illetve a pincében tárolt minták deformációs erőinek varianciaazonossági tesztje 8 hónap tárolás után

A *déli oldalon* elhelyezett minták normális eloszlását a hibakomponensek hisztogramja és a derékszögű koordinátarendszerben ábrázolt elhelyezkedése mutatja (**49. ábra**).



**49. ábra.** A déli oldalon tárolt minták hibakomponenseinek elhelyezkedése 8 hónap tárolás után

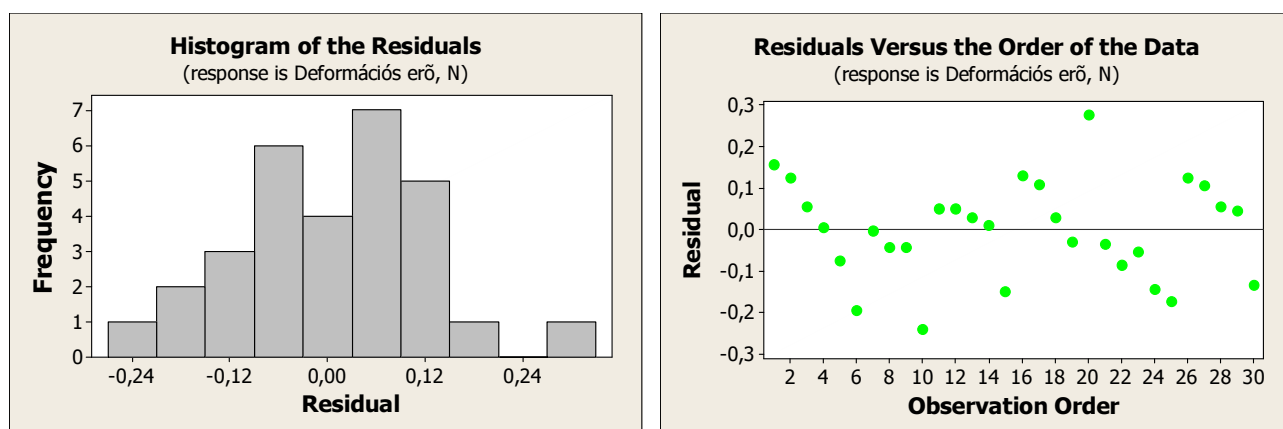
Az egytényezős varianciaanalízis eredménye szerint az F-próba értéke (10,57) jóval nagyobb a kritikus értéknél (3,35), a  $H_0$  hipotézis teljesülésének valószínűsége 0%. *Tehát a déli oldalon tárolt három minta középértéke 8 hónap tárolás után szignifikánsan különbözik.* A grafikus ábrázolás (50. ábra) alapján is látszik az eltérés, amit a Dunnett-próba eredménye igazolt. A CBE - minta kontrollhoz (CB - minta) viszonyított konfidencia-intervallumának mindkét határértéke negatív előjelű, az intervallum nem tartalmazza a zérust.



**50. ábra.** A déli oldalon tárolt csokoládémintákon mért deformációs erők és a deformációs erők konfidencia-intervallumainak elhelyezkedése 8 hónap tárolás után

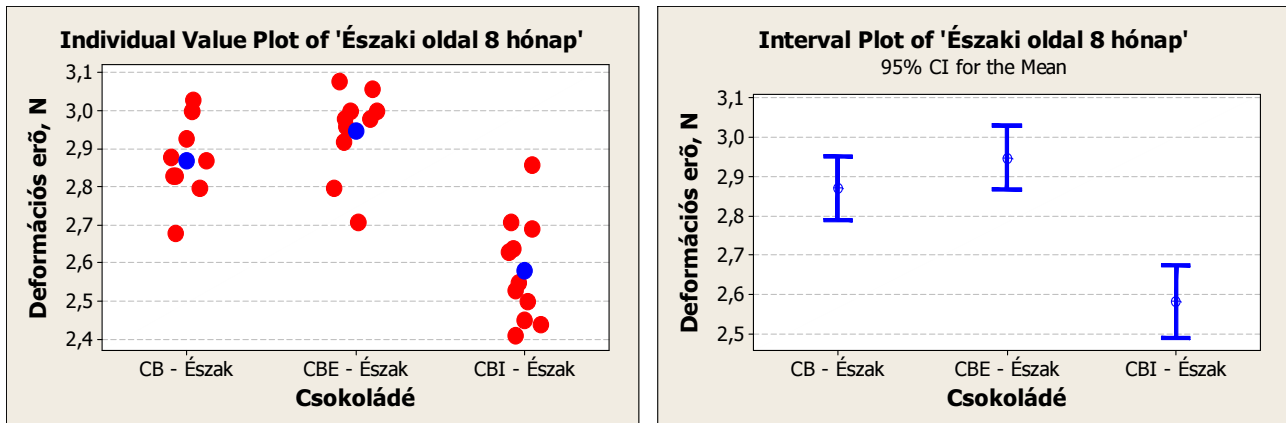
*A déli oldalon tárolt csokoládék keménysége 8 hónap tárolás után szignifikánsan különbözik, a CBE - minta puhább a csak kakaóvaját tartalmazó CB - csokoládénál.*

Az északi oldalon elhelyezett minták hibakomponenseinek hisztogramját és a derékszögű koordinátarendszerben való elhelyezkedését az 51. ábra mutatja. Az ábra alapján a populációk eloszlását normálisnak tekinthetjük.



**51. ábra.** Az északi oldalon tárolt minták hibakomponenseinek elhelyezkedése 8 hónap tárolás után

A varianciaanalízis eredménye ( $26,81 > 3,35$  és  $p=0,000$ ) az északi oldalon tárolt három különböző összetételű minta 8 hónap után mért keménységében nagyon nagy eltérést mutatott. Az egyedi mérési eredmények és a középértékek konfidencia-intervallumainak (52. ábra) ábrázolása után a CBI - csokoládé keménységét látjuk a másik kettőhöz hasonlítva eltérőnek.

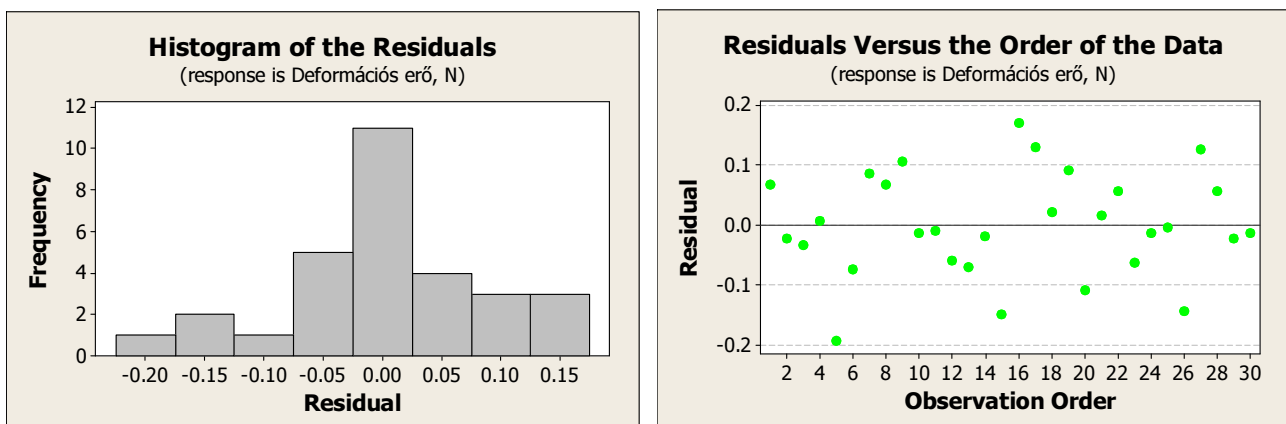


**52. ábra.** Az északi oldalon tárolt csokoládémintákon mért deformációs erők és a deformációs erők konfidencia-intervallumainak elhelyezkedése 8 hónap tárolás után

A Dunnett-féle eljárás eredménye szerint a CBI - minta standardhoz viszonyított konfidencia-intervalluma nem tartalmazza a 0 értéket, a határértékei negatívak.

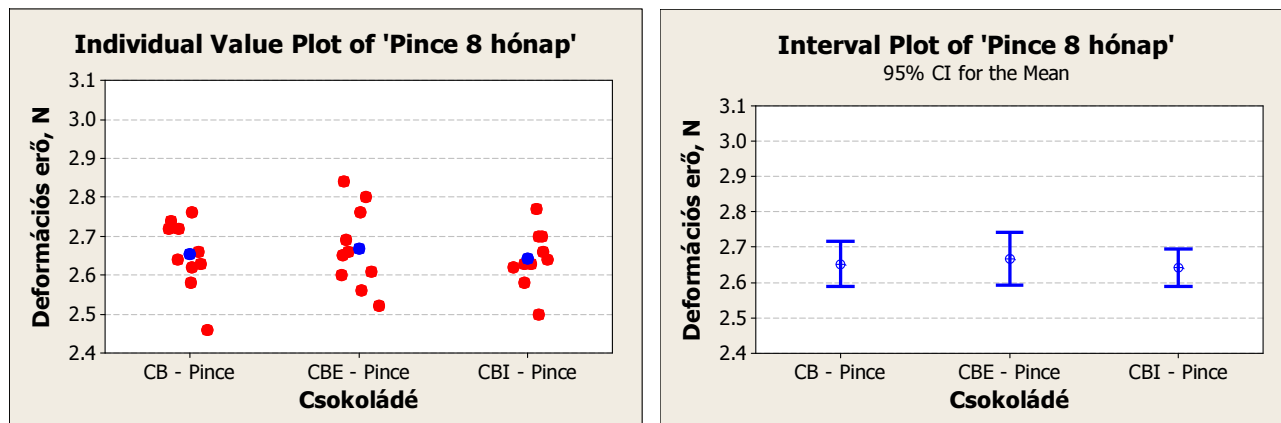
Így az északi oldalon tárolt csokoládék keménysége 8 hónap tárolás után szignifikánsan különbözik, a CBI - minta jelentősen puhább a CB - és a CBE - csokoládénál.

A pincében elhelyezett csokoládéminták keménységéből számított reziduumok hisztogramja és elhelyezkedése alapján (53. ábra) a populációk eloszlását normálisnak tekintjük.



**53. ábra.** A pincében tárolt minták hibakomponenseinek elhelyezkedése 8 hónap tárolás után

Az egytényezős varianciaanalízis elvégzése után kapott F-próba értéke (0,21) jóval kisebb az  $F^*$ -próbastatisztika értékének (3,35), ami a három minta középértékének azonosságát jelzi, és ezt támasztja alá a  $p=0,810$  valószínűségi érték is. A konfidencia-intervallumok elhelyezkedéséből (54. ábra) is jól látható a minták hasonlósága.



**54. ábra. A pincében tárolt csokoládémintákon mért deformációs erők és a deformációs erők konfidencia-intervallumainak elhelyezkedése 8 hónap tárolás után**

A Dunnett-eljárás megerősíti a grafikus ábrázolás alapján előrevetített feltételezést, mind a CBE -, mind a CBI - minta standardhoz viszonyított konfidencia-intervalluma tartalmazza a zérust, a határértékek mindkét minta esetében különböző előjelűek.

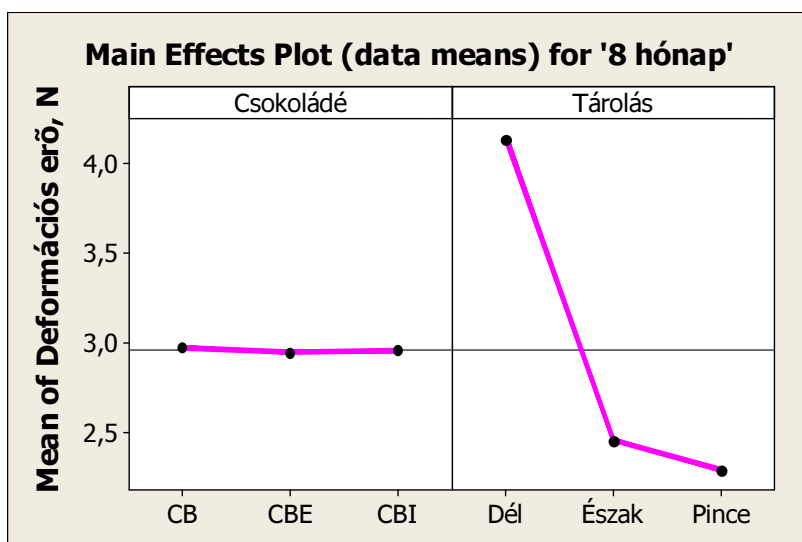
Összefoglalva a *pincében tárolt csokoládék (CB -, CBE - és CBI - minták) keménysége 8 hónap tárolás után azonosnak tekintendő.*

A tárolási helyek adott összetételű mintákra gyakorolt hatásának vizsgálatakor a szokásos módon elvégeztem az egytényezős varianciaanalízis-modell validálását.

A CB -, CBE - és a CBI - mintákra egyesével elvégzett Bartlett-tesztek eredménye alapján *ki kell zárunk a varianciák azonosságát, ezért a tárolási helyek 8 hónapos tárolás után adott összetételű mintákra gyakorolt hatásának vizsgálata varianciaanalízissel nem végezhető el.*

A kétféle kezelés, az *összetétel és a tárolási körülmények együttes* hatását vizsgálva 8 hónapos tárolás után grafikusán ábrázoltam a minták keménységét (55. ábra). Az összetétel hatása egytényezős varianciaanalízissel történő vizsgálattal szignifikánsnak bizonyult, ehhez hasonlítva a ket-tős hatás grafikus ábrázolását látható, hogy a tárolás ennél még sokkal nagyobb különbségekre mutat rá.





**55. ábra. Az összetétel és a tárolási körülmények hatása a deformációs erőre 8 hónap tárolás után**

8 hónapos tárolás alapján az északi oldalhoz viszonyítva a pince tárolási körülményei negatívan befolyásolják a csokoládéminták keménységét, a déli oldalon történő tárolás pedig nagyon erőteljes keménységnövelő hatást mutat.

A 8 hónapnyi tárolás után végzett penetrometriás vizsgálatok tapasztalatait összefoglalva elmondható:

- a varianciák azonosságra vonatkozó feltétel nem minden esetben teljesül, ezért a minták statisztikai összehasonlítása varianciaanalízissel nem mindig lehetséges,
- az összetevők hatását tárolási helyenként vizsgálva megállapítható, hogy a déli és az északi oldalon tárolt minták keménysége szignifikánsan különbözik,
- a déli oldalon tárolt minták közül a CBE - csokoládé igazoltan puhább a CB - és a CBI - mintáknál,
- az északi oldalon elhelyezett minták esetében a CBI - csokoládé puhább a másik kettőnél,
- a pince tárolási körülményeinek hatására a minták keménysége nem különbözött szignifikánsan,
- a tárolási körülmények hatását a varianciák különbözősége miatt varianciaanalízissel nem volt lehetséges vizsgálni,
- a két tényező együttes hatását grafikusán vizsgálva jól látható, hogy az összetétel-nél a tárolási körülmény hatása jóval meghatározóbb, a déli oldalon történő tárolás

sokkal keményebbé, a pincében való elhelyezés puhábbá teszi a mintákat az északi oldalon tárolt csokoládékhoz képest.

Összefoglalva:

Statisztikai módszerekkel hasonlítottam össze a **38. ábrán** bemutatott diagram első és utolsó mérési pontjait, amelyek a *különböző összetételű, különböző körülmények között tárolt csokoládék 1 hét és 8 hónap tárolást* követően meghatározott *keményiségét* írják le.

Az **összetétel hatásának** elemzésekor az *1 hét és a 8 hónap tárolási* időket követően tárolási helyenként nem minden esetben egyeztek az eredmények. 1 hét tárolás után a déli oldalon és a pincében elhelyezett CBE - minták szignifikánsan puhábbak voltak, a pincében tárolt CBI - csokoládé keményebb volt a többinél. 8 hónap tárolás után a déli oldalon elhelyezett minták az előzővel azonos eredményt mutattak, a CBE - minta puhább volt a másik kettőnél, de a pincében elhelyezve a három minta keménységében nem mutatkozott különbség. Az északi oldalon a CBI - csokoládé kisebb keménységet mutatott, míg a másik kettő minta között nem volt szignifikáns különbség.

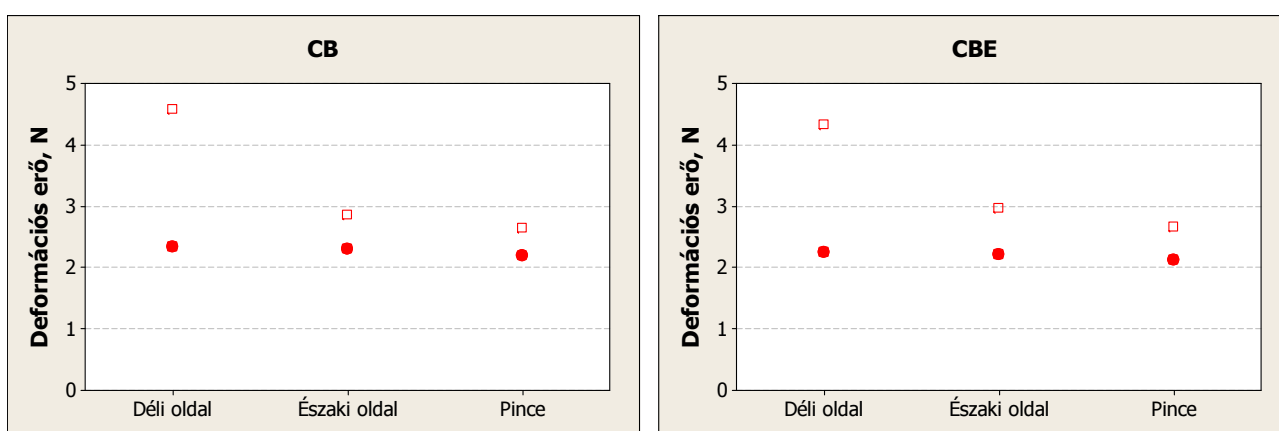
Az eredményeket szakmailag értékelve kijelenthető, hogy a **CBE - zsír 5%-ban** történő alkalmazása közvetlenül a gyártást követő *rövid idejű tárolás után* – amikor az utókristályosodási folyamatok még zajlanak – a csokoládé keménységét szignifikánsan csökkenti, ugyanúgy, mint *hosszabb idejű tárolás után* a nyári időszakban, a sokkal melegebb, *déli oldalon elhelyezve*. A *hosszú idejű tárolás utáni* nyári időszakban a közepesen meleg *északi oldalon és a hűvös pincében tárolt minták keménységét* a CBE - zsír alkalmazása szignifikánsan nem változtatta meg. A **CBI - zsír 5%-nyi** használata a csokoládé standardhoz viszonyított keménységében *rövid idejű tárolás után* meghatározva a *déli oldalon tárolva nem okozott változást*, a pincében elhelyezve szignifikánsan növelte azt. A *hosszú idejű tárolás hatására* a nyári időszakban mérve a csokoládé keménységét a *déli oldalon és a pincében nem változtatta meg jelentősen*, viszont az *északi oldalon tárolva szignifikánsan csökkentette*.

A szakirodalomban a CBE - zsírokról az a meghatározás van érvényben, hogy a kakaóvajjal korlátlanul keverve az *elegy tulajdonságai nem térnek el a kiindulási anyagétól* (BECKETT 1990 és KLEINERT 1997). TSCHEUSCHNER és MARKOV (1988) kísérletei alapján az 5% idegen zsír az étcsokoládé nyomási szilárdságát növelte, a *saját eredményeim szerint* a CBE - zsírok bizonyos tárolási körülmények között szignifikáns változást idéztek elő a csokoládé keménységében, csökkentették azt.

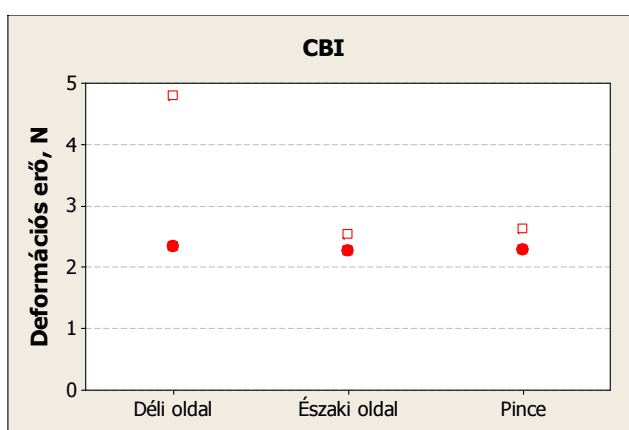
MATISSEK (2000) a CBI - zsírok alkalmazásáról kijelentette, hogy *keményebbé, hőállóbbá tesz a csokoládét*, ezt a tényt sem a csokoládé hőállóképességének keretében folytatott vizsgálataim (**36. ábra**), sem a keménységmérési kísérleteim *nem erősítik meg*. A CBI - zsír kevés mennyiségű, 5%-nyi alkalmazása a legmelegebb körülmények között (*déli oldalon*) tárolt csokoládé kemény-

ségét nem változtatta, ennél hidegebb helyeken elhelyezett csokoládé keménységét *hosszú idejű tárolás után szignifikánsan csökkentette*. Valószínűsíthető, hogy hőállóképességet és keménységet növelő hatása az 5%-nál nagyobb arányú alkalmazás során jelentősebben érvényesül.

A **tárolási körülmények hatását** vizsgálva megállapítható, hogy *1 hét tárolást követően a déli oldalon tárolt minták keményebbek, a pincében elhelyezett minták puhábbak voltak a standard-ként kijelölt északi oldalon lévő csokoládéknál*, és ez a tendencia a *8 hónapos tárolást követően sem változott, továbbá a különbségek még meghatározóbbakká váltak*. Az **56., 57. és 58. ábra** összehasonlítja a három helyen tárolt CB -, a CBE - és a CBI - mintákon mért maximális deformációs erők változását 1 hét és 8 hónap tárolás után.



**56. és 57. ábra.** A déli, északi oldalakon és a pincében tárolt CB -, CBE - csokoládén mért maximális deformációs erők 1 hét • és 8 hónap ◻ tárolást követően



**58. ábra** A déli, északi oldalakon és a pincében tárolt CBI - csokoládén mért maximális deformációs erők 1 hét • és 8 hónap ◻ tárolást követően

A CB -, CBE - és CBI - csokoládék esetében is megfigyelhető, hogy az 1 hetes tárolás után mért átlagos maximális deformációs erőket összehasonlítva a 8 hónapos tárolást követő eredményekkel az északi oldalon és a pincében tárolva kismértékű a változás, míg a déli oldalon tárolt minták keménysége a kétszeresére nőtt.

A **38. ábra** diagramján megfigyelhető, hogy a tárolási idő elteltével az északi oldal és a pince görbéi nem változnak olyan jelentős mértékben, mint a déli oldal görbéi. Ezzel egyező eredményt publikált HAUSMANN társaival (1994), akik megállapították, hogy a nyomási szilárdság (keménység) a három hónapos tárolás alatt nő, igazán jelentős növekedés a 22°C és 26°C-os tárolási hőmérsékleten tapasztalható.

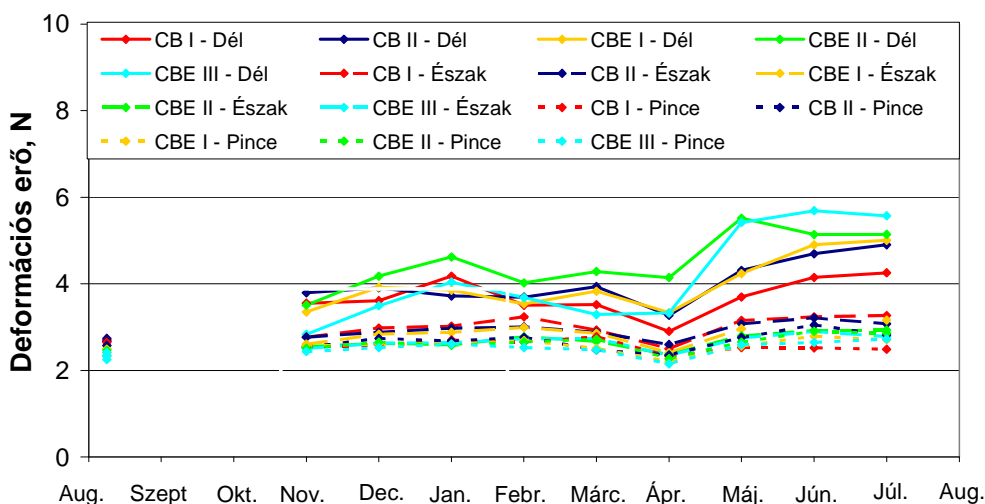
A szakmai megfontolások szerint a déli oldalon tárolt csokoládé keménységében megfigyelhető jelentős növekedés a szakirodalomban leírt (KLEINERT 1997) *ciklotermikus előkristályosítás* során végbemenő folyamatokkal magyarázható. A gyártás idején az előkristályosítási műveletet többször megismételve megfigyelhető ugyanis az étcsokoládé hőállóképességének növekedése. A hosszú ideig tartó, főként a nyári időszakban történő, nagy hőingadozásnak (akár 40°C) és napfény közvetlen hatásának kitett tárolás során a csokoládé napi ciklusokban megolvad, majd spontán, szabályozatlan módon ismét kikristályosodik. Ez a sokszor ismétlődő olvadási - megszilárdulási folyamat a *spontán ciklotermikus kristályosodás*, amelynek következtében a csokoládé folyamatosan keményebbé és hőstabilabbá válik.

## 2.) Tárolási vizsgálat – 11 hónap (II. gyártás, minták előállítása: 2003. augusztus)

A következő ábrán (**59. ábra**) egy újabb penetrometriás tárolási kísérlet eredményét tüntettem fel. A vizsgálat keretében a nyár utolsó hónapjában (*augusztusban*) *előállított*, és az előzőekkel megegyező tárolási körülmények között (déli oldal, északi oldal és pince) elhelyezett *5-féle minta keménységének változását* követtem nyomon. A minták között két azonos recepttel gyártott standard (CB I és CB II) csokoládé szerepelt, a következő három minta pedig három különböző CBE - zsírt (CBE I, CBE II és CBE III) tartalmaz.

A görbék lefutása az előző kísérlethez hasonló jelleget mutat. Az északi oldalt jelentő szaggatott vonalak és a pincét jelképező pontvonalak a tárolási idő függvényében nem mutatnak olyan jelentős emelkedést, mint a déli oldalt szimbolizáló folytonos vonalak.

A *magasabb hőmérsékleten (déli oldal) tárolt csokoládék* ebben az esetben is a nyári időszak, így nagy hőingadozások beköszöntével mutatják a *ciklotermikus keménységnövekedés jelenségét*.



**59. ábra.** Az eltérő körülmények között tárolt CB I -, CB II -, CBE I -, CBE II – és CBE III - csokoládék maximális deformációs erőinek változása a tárolási idő függvényében

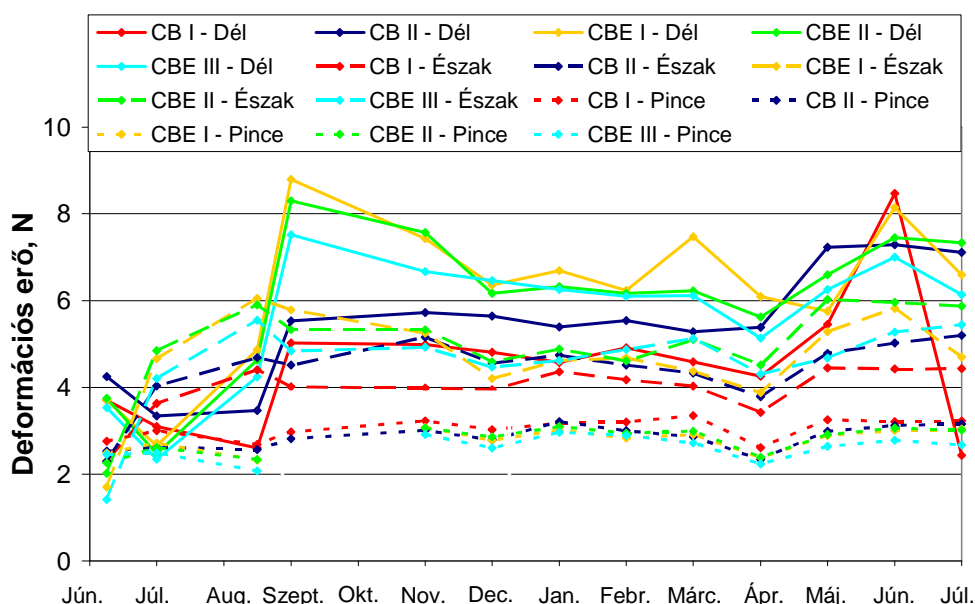
Az *összetétel keménységre kifejtett hatása* változó tendenciát mutat, de az extrém magas hőmérsékletű *déli oldalon* tárolt csokoládék esetében megfigyelhető, hogy különösen a tárolás utolsó hónapjaiban a CBE - zsírt tartalmazó minták mindegyike *keményebb*, mint a standard csokoládék.

Mivel az 1.) pontban elemzett tárolási kísérlet statisztikai próbája erre vonatkozólag ellenkező eredményt hozott, ezért a kakaóvaj egyenértékű (CBE) zsírok 5%-nyi mennyiségben való használatának a csokoládé keménységére gyakorolt hatását egyértelműen nem lehet igazolni.

### 3.) Tárolási vizsgálat – 12 hónap (I. gyártás, minták előállítása: 2003. június)

A fenti tárolási kísérlet eredményét az **60. ábrán** figyelhetjük meg. Ebben a kísérletben a minták (CB I, CB II, CBE I, CBE II, CBE III) előállítása az előzőleg ábrázolt gyártással (II. gyártás) megegyező recept szerint, de annál korábban, a *nyár eleji hónapban, 2003. júniusban* történt. A mintákat az előzőekhez hasonlóan a *déli oldalon, északi oldalon és a pincében* helyeztem el. **A tárolási teszt különlegessége, hogy a vizsgálat kerek 12 hónapot ölelt fel.**

A két diagramot (**59. és 60. ábra**) összehasonlítva első pillantásra teljesen különbözőnek ítéljük meg a keménység változását a tárolási idő függvényében. Az egyes tárolási helyeket leíró görbék hamarabb szétválnak, nagyobb ingadozásokat jeleznek, de a tendenciájuk a másik kísérlettel összevetve alapvetően hasonló. A déli oldalt jelentő folytonos vonalak már a tárolási teszt elején erőteljes emelkedést mutatnak, és a kísérlet végéig magasabb értéken maradnak. Az északi oldalt ábrázoló szaggatott vonalak csekély emelkedést, majd viszonylagosan állandó deformációs értéket mutatnak. A pince pontvonalai szinte végig alacsony értékeken ingadoznak, amelyek csak kis mértékben különböznek az **59. ábrán** láthatóktól.



**60. ábra.** Az eltérő körülmények között tárolt CB I -, CB II -, CBE I -, CBE II – és CBE III - csokoládék max. def. erőinek változása 12 hónap tárolási idő alatt

Mivel a gyártás júniusban, a meleg nyári hónapok elején történt, ezért a *ciklotermikus keményedés* a déli oldalon tárolt minták esetében már a kísérlet elején bekövetkezett. Ezen csokoládék keménysége a 12 hónap alatt nagyon nagy maradt, kisebb-nagyobb ingadozásokkal. A *ciklotermikus keményedés* az északi oldalon elhelyezett mintáknál is *megfigyelhető* volt jóval csekélyebb mértékben, hiszen a nyári melegben itt is jelentős a hőmérséklet ingadozása. A *pincében* lévő mintáknál 12 hónap alatt a *keményiség változása nem volt jelentős*.

Az *összetétel hatását* elemezve itt is megfigyelhető, hogy – ugyan bizonyos ingadozást tapasztalva – a nagy hőmérsékletű *déli oldalon* tárolt minták esetében a *CBE - zsírokat* tartalmazó csokoládék legtöbbször *nagyobb keménységet* mutattak, mint a máshol tároltak.

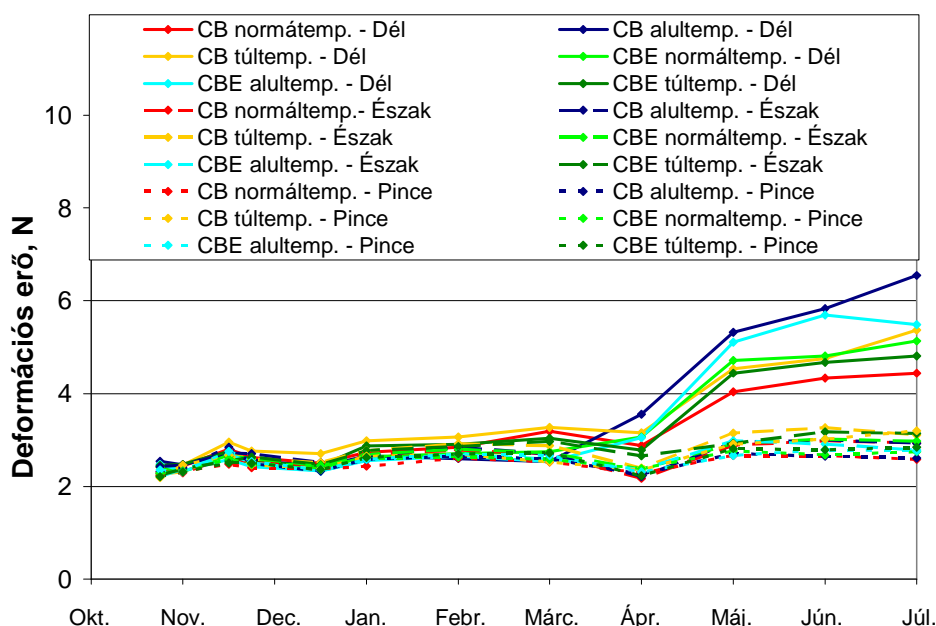
#### 4.) Tárolási vizsgálat – 9 hónap (III. gyártás, minták előállítása: 2003. október)

Az utolsó tárolási vizsgálat az előzőeknél komplexebb módon az összetétel, a temperáltsági fok és a tárolási körülmények keménységre kifejtett hatását elemzi az eltelt idő függvényében.

A kísérlet elvégzéséhez két különböző összetételű (CB és CBE) csokoládemasszát állítottam elő, amelyeket három különböző módon temperáltam (normáltemperált, alultemperált és túltemperált). A tárolási körülmények az előző tesztekhez nem különböztek, a mintákat a déli oldalon, az északi oldalon és a pincében helyeztem el. A minták előállítását 2003 év őszén, októberben végeztem.

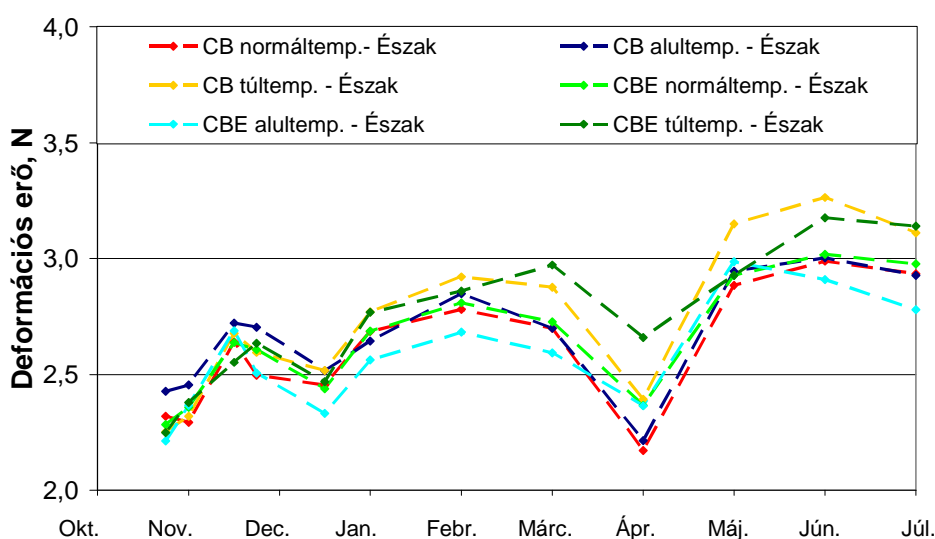
A csokoládéminták keménységének változását a tárolási idő függvényében az **61. ábrán** látható diagram mutatja. Azonnal látható, hogy a diagram a **38.** és az **59. ábrákon** látható kísérleti eredményekhez hasonlítható, vagyis a *tárolási körülmények eltérő hatása a meleg évszak beköszön-*

tével mutatkozik meg igazán, a *déli oldalon* tárolt mintáknál ismételten megfigyelhető a *ciklotermikus keményedés* folyamata. Az *északi oldalon* és a *pincében* tárolt minták keménységében itt *sem* tapasztalunk jelentős *változást*.



**61. ábra.** Az eltérő körülmények között tárolt, normál-, alul- és túltemperált CB - és CBE - csokoládék maximális deformációs erőinek változása a tárolási idő függvényében

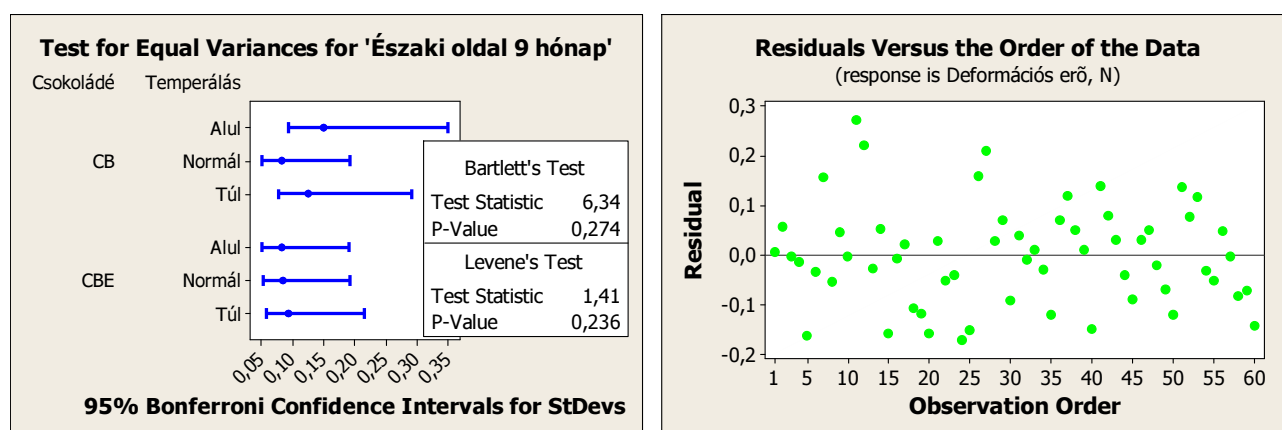
Az **61. ábra** a sok adat miatt nehezen áttekinthető, ezért az *összetétel és a temperáltsági fok keménységre gyakorolt hatásának meghatározásához* kiválasztottam és külön diagramban ábrázoltam a standardnak nevezhető, nem extrém meleg és nem extrém hideg tárolási körülményeket szimuláló északi oldalt (**62. ábra**).



**62. ábra.** Az északi oldalon tárolt, normál-, alul- és túltemperált CB - és CBE - csokoládék max. deformációs erőinek változása a tárolási idő függvényében

A két hatás együttes vizsgálatát statisztikai elemzéssel, *kéttényezős varianciaanalízissel* végeztem. A varianciaanalízis-modell alkalmazhatóságát a varianciák azonosságának meghatározásával teszteltem. A teszt eredménye alapján a gyártás utáni *3 hét tárolási időt* követő mérésekre *nem alkalmazható a kéttényezős varianciaanalízis az alultemperált minták többihez viszonyított túl nagy szórása miatt*. Ezért 3 hét tárolás után a temperáltság hatása varianciaanalízissel egyáltalán nem vizsgálható.

Az előző kísérletekben már foglalkoztam az összetétel keménységre kifejtett hatásával, ezért ennél a vizsgálatnál a temperáltsági fok befolyását helyeztem előtérbe. Így a varianciák azonosságának meghatározását elvégeztem a tárolás végén, **9 hónap** elteltével meghatározott keménységi adatokra. A Bartlett-féle eljárás p valószínűségi értéke szerint a minták varianciája azonosnak tekinthető, a hibakomponensek véletlenszerű elhelyezkedése szerint a populáció normális eloszlású (**63. ábra**), így a kéttényezős varianciaanalízis elvégzésének nincsen akadálya.



**63. ábra.** Az északi oldalon tárolt, normál-, alul- és túltemperált CB - és CBE - csokoládék varianciaazonossági tesztje és a rezídumok elhelyezkedése 9 hónap tárolás után

A kéttényezős varianciaanalízis eredménye azt határozza meg, hogy 95% megbízhatósági szinten a keménység alakulására hatással van-e külön az összetétel és a temperálás, mint két különböző kezelés, illetve a két hatás között létezik-e kölcsönhatás.

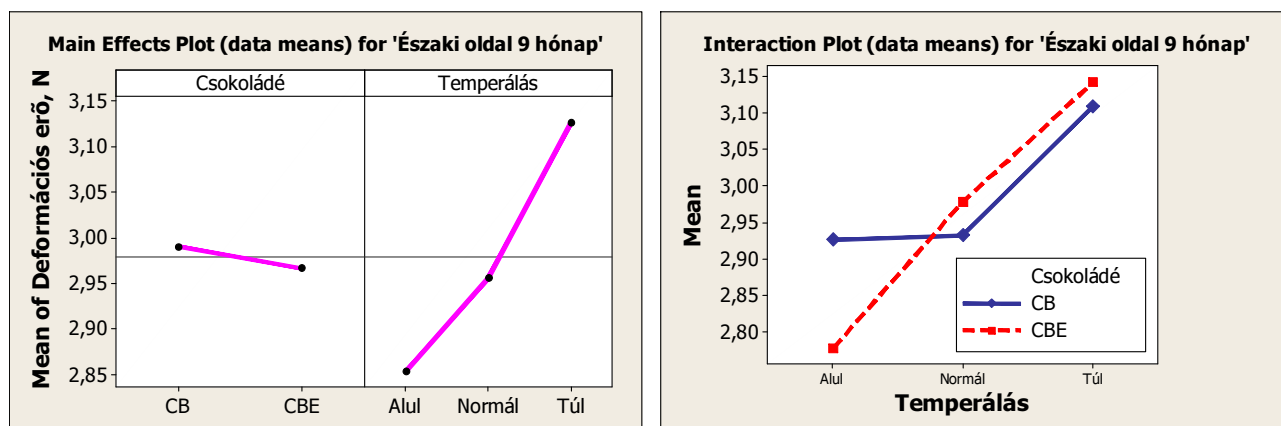
Az *összetétel hatásának* meghatározásakor eredményül kapott F-próba értéke (0,73) jóval kisebb a kritikus  $F^*$ -próbastatisztika értékénél (4,02), ezért a *középtértékek egyezésére* vonatkozó nullhipotézist megtartjuk. Ezt támasztja alá a  $p=0,396$  érték is, amely sokkal nagyobb a tévedési valószínűség a választott  $p=0,05$  értékénél.

A *temperáltság befolyására* kapott F-próba értéke (34,10) sokszorosa a kritikus  $F^*$  értékének (3,17), és a p érték a nullhipotézis teljesülésének valószínűségét 0%-ban határozza meg, azaz a különbözőképpen temperált minták között *szignifikáns különbség* van.



A két kezelés (összetétel és temperáltsági fok) interakciójának vizsgálatára kapott F-próba értéke (5,25) nagyobb  $F^*$ -próbastatisztika értékénél (3,17), vagyis a két hatás között szignifikánsan igazolható a kölcsönhatás. A valószínűségi változó tévedési valószínűségénél kisebb p értéke (0,008) is ezt a tényt támasztja alá.

A kezelések együttes hatása vizsgálható a középértékek grafikus ábrázolásával is (64. ábra).



**64. ábra.** Az összetétel és a temperáltság hatása a maximális deformációs erőre 9 hónap tárolás után

A fenti két diagram igazán jól szemlélteti a kéttényezős varianciaanalízis eredményét. Az ábra bal oldali részén látszik, hogy az összetételnek kicsi hatása van a keménységre, a CB - és a CBE - minták középértékei között nincsen szignifikáns különbség.

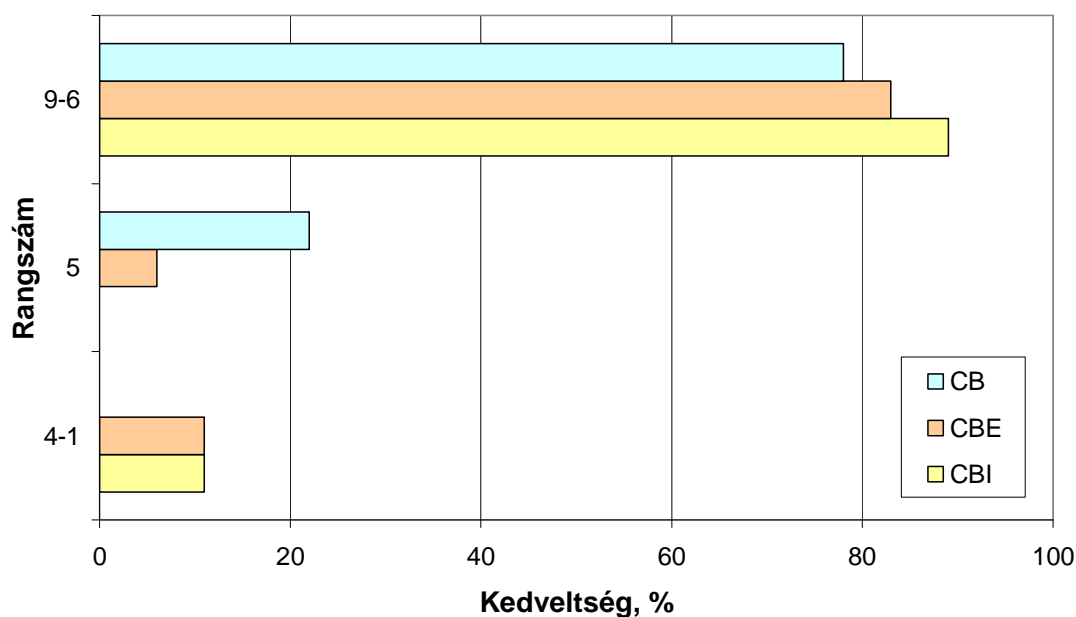
A temperáltsági fok ellenben nagy különbséget okoz a keménységben, az alultemperált csokoládé sokkal (6%) puhább, a túltemperált csokoládé sokkal (6%) keményebb, mint a normáltemperált minta. A különbséget a varianciaanalízis során elvégzett Dunnett-féle eljárás is bizonyította, az alultemperált és a túltemperált minták standardhoz (normáltemperált minta) viszonyított konfidenciaintervallumai nem tartalmazzák a zérust, előbbi határértékei negatív, utóbbi határértékei pozitív előjelet vesznek fel. Hasonló eredményt publikált TSCHEUSCHNER és MARKOV (1988).

A két kezelés közötti interakciót ábrázolja a 64. ábra jobb oldali diagramja. A kölcsönhatást bizonyítja, hogy a két görbe nem párhuzamos lefutású, tehát a temperáltság keménységre gyakorolt hatását külön befolyásolja, hogy milyen összetételű a temperálandó csokoládémassza, továbbá a jelenség különösen az alultemperált csokoládémintáknál jelentkezik. Ennek oka az, hogy a két csokoládéminta zsírosszetétele nem egyezik – a CB - csokoládé zsírfázisa kakaóvajból áll, míg a CBE - csokoládé 5%-ban idegen zsírt tartalmaz, ez valószínűsíti, hogy a két minta azonos paraméterek mellett is különbözőképpen kristályosodik. Ezt a feltételezést az adott minták HPLC - elemzésével lehetne alátámasztani.

### 5.3 A csokoládé érzékszervi jellemzői

#### 5.3.1 A kedveltségi teszt (hedonikus skála)

A CB -, CBE - és CBI - csokoládék első érzékszervi vizsgálatát az előállítást követő **6 hét tárolás** után 18 bírálóval végeztem. A bírálók az egyes mintáknak 1-9 közötti rangszámot adtak, a nagyobb rangszám a nagyobb kedveltséget jelenti. A kedveltségi teszt eredményét a **65. ábra** mutatja be.



**65. ábra.** A CB -, CBE - és CBI - csokoládék kedveltségi tesztje 6 hét tárolás után

Az eredmények grafikus ábrázolása alapján a legkedveltebb csokoládé a CBI - minta, a legkevésbé kedvelt pedig a standard, csak kakaóvaját tartalmazó CB - csokoládé.

A kapott rangszámok alapján megvizsgáltam, hogy a három minta között van-e szignifikáns különbség, tudtak-e a bírálók a csokoládék között különbséget tenni. Ennek bizonyítására a nem paraméteres *Friedman próbát* alkalmaztam. A próba  $H_0$  nullhipotézise szerint a minták között nincsen szignifikáns különbség. Amennyiben a nem paraméteres próba a minták között szignifikáns különbséget jelez, a páronkénti *szignifikáns differencia* meghatározásával tudjuk megállapítani, mely két csokoládé között van jelentős különbség (KÓKAI, ERDÉLYI 2005).

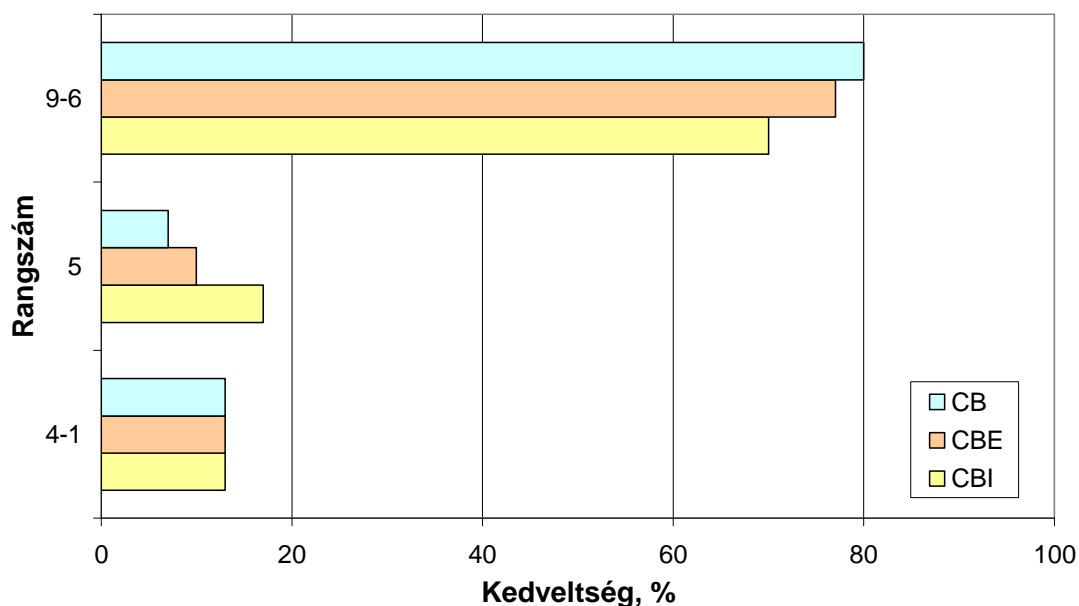
A Friedman próba elvégzése után a csokoládék a következő összesített rangszámokat kapták:

CB	35,0
CBE	34,5
CBI	38,5

A statisztikai elemzés szerint a sorrend megváltozott, a legkedveltebb csokoládé a CBI - minta, de legkevésbé kedvelt a CBE - minta.

A próba valószínűségi  $p$  változója, a  $H_0$  nullhipotézis teljesülésének valószínűsége (0,768) sokkal nagyobb értéket vesz fel a tévedési valószínűség értékénél (0,05), tehát a nullhipotézisre vonatkozó állítást elfogadjuk, nincsen szignifikáns különbség a minták között.

A fenti minták (CB -, CBE -, CBI - csokoládé) érzékszervi vizsgálatát ismét elvégeztem a gyártástól számított **4 hónapos tárolási** időt követően 30 bírálóval. A kedveltségi teszt diagramját a **66. ábra** szemlélteti.



**66. ábra.** A CB -, CBE - és CBI - csokoládék kedveltségi tesztje 4 hónapos tárolás után

Ebben az esetben az eredmények grafikus ábrázolása a CB - csokoládét mutatja a legkedveltebbnek, ugyanakkor most a legkevésbé kedvelt jelzöt a CBI - csokoládé kapja. A sorrend tehát a második teszt esetében megfordult.

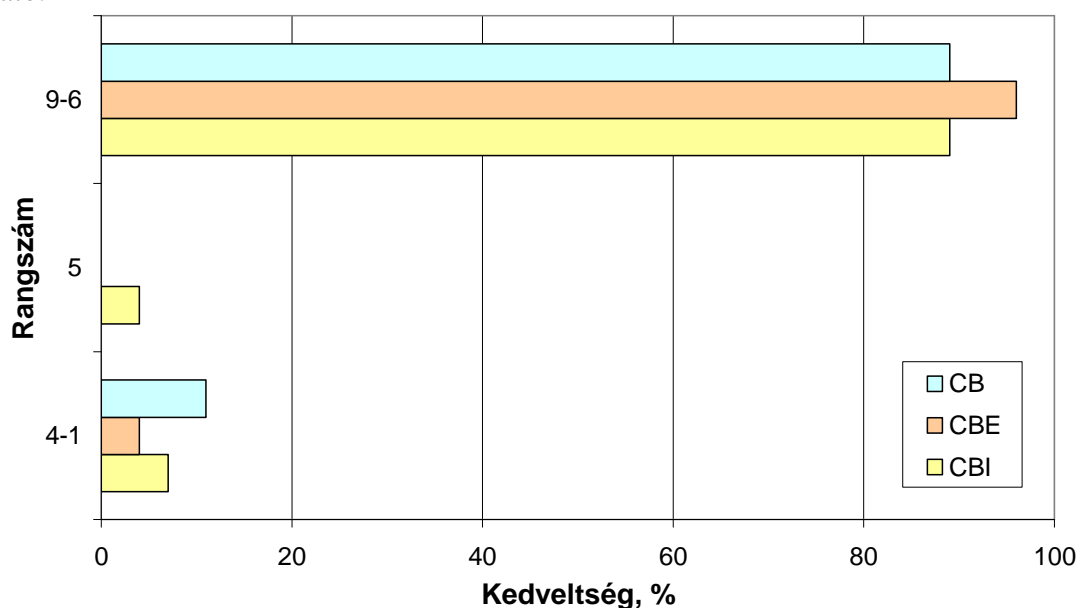
A három mintára a bírálók által adott rangszámok alapján elvégeztem a szignifikáns különbség vizsgálatára alkalmas *Friedman próbát*. A csokoládék a következő összesített rangszámot kapták:

CB	63,0
CBE	56,0
CBI	61,0

A kedveltségi diagramhoz viszonyítva a sorrend most is megváltozott, a legkedveltebb csokoládé a standard CB - minta maradt, de szorosan a nyomában a CBE - minta helyett a CBI - minta található. A *legkevésbé kedvelt* így a CBE - csokoládé.

A próba valószínűségi  $p$  változója (0,648) a tévedési valószínűség értékénél (0,05) ebben az esetben is sokkal nagyobb értéket vesz fel, így tehát a nullhipotézisre vonatkozó állítást megtartjuk, a minták között most sincsen szignifikáns különbség.

A CB -, CBE - és a CBI - csokoládék érzékszervi vizsgálatát harmadízben is elvégeztem 27 bírálóval a gyártást követő **6 hónapos tárolás** után. A kedveltségi teszt diagramja ezúttal a **67. ábrán** látható.



**67. ábra.** A CB -, CBE - és CBI - csokoládék kedveltségi tesztje 6 hónapos tárolás után

A változatosság kedvéért jelen esetben a grafikus ábrázolás a CBE - csokoládét mutatja a *legkedveltebbnek*, *második helyen* osztozik a CB - és a CBI - csokoládé. Így most találkozhattunk a harmadik variációval.

A minták rangszám szerinti összehasonlítását az utolsó kísérletnél is a *Friedman próbával* végeztem el, a csokoládék *összesített rangszámai* a következők:

CB	51,5
CBE	57,5
CBI	53,0

A minták sorrendje ebben az esetben is kicsit megváltozott, most a *legkedveltebb csokoládé* a CBE - minta, a következő a CBI - minta és a *legkevésbé kedvelt* a standard, csak kakaóvaját tartalmazó CB - csokoládé.

A próba valószínűségi  $p$  változója (0,697) a tévedési valószínűség értékénél (0,05) sokkal nagyobb értéket vesz fel, ezért a nullhipotézisre vonatkozó állítást a jelen vizsgálatnál is elfogadjuk, nincsen szignifikáns különbség a minták között.

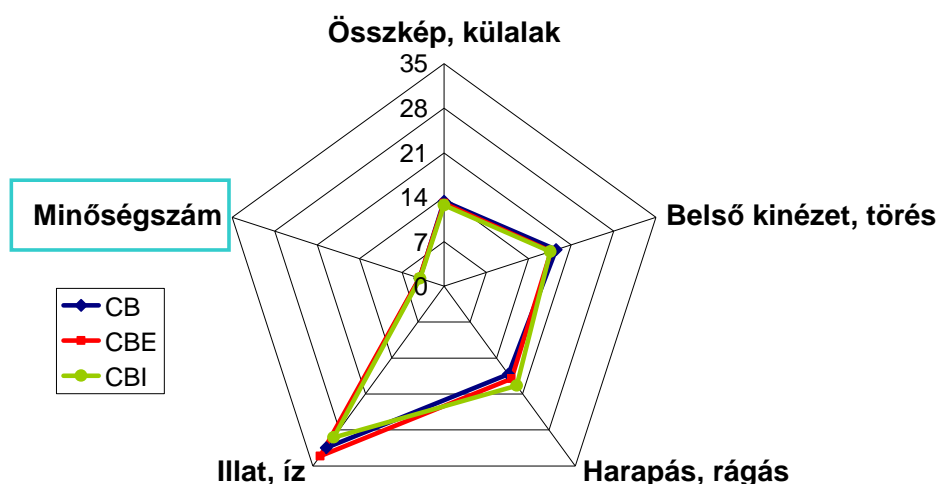
A *kedveltségi tesztek* alapján elvégzett érzékszervi vizsgálatok *eredményeit összegezve* megállapítható, hogy a bírálók három vizsgálat alatt a három minta közül minden esetben más-más csokoládét jelöltek a legkedveltebbnek. Ez önmagában véve is kétségbe vonja az egyes minták közötti összetételbeli különbség érzékszervi vizsgálatokkal való kimutathatóságát. A statisztikai elemzések ezt megerősítették, mindhárom vizsgálat Friedman próbájának eredménye bizonyítja, hogy a CB -, CBE - és a CBI - csokoládék között nincsen szignifikáns különbség.

### 5.3.2 A DLG vizsgálati módszer

A érzékszervi vizsgálatok keretében a 18 bíráló elvégezte a **CB -, CBE - és CBI - csokoládék DLG vizsgálati módszer szerinti minősítését** a gyártás utáni **6 hét tárolást** követően.

Az értékelés meghatározott kategóriák pontozása szerint történt, és az egyes kategóriák faktorszámokkal történő súlyozása után kiszámoltam a minták minőségszámát (CB=4,1; CBE=4,1; CBI=4,0).

A kategóriák és a minőségszámok értékei meghatározzák az adott minta profilját, melyet sugárdiagramban ábrázolva a **68. ábrán** látható képet kapjuk.

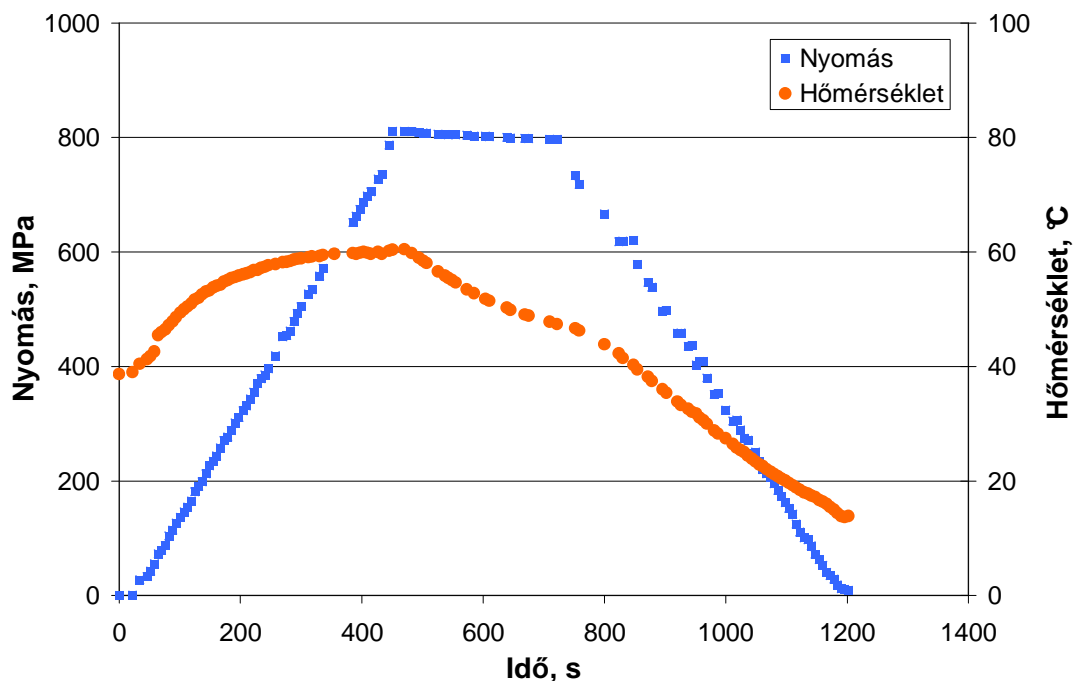


**68. ábra.** A CB -, CBE - és CBI - csokoládék érzékszervi profilja

A sugárdiagramon nagyon jól látszik, hogy az egyes minták profiljai szinte egy az egyben lefedik egymást. A CB -, CBE - és a CBI - csokoládék érzékszervi profiljai nem mutatnak értékelhető különbséget.

## 5.4 A csokoládémassza nagy hidrosztatikai nyomással történő kristályosítása

A csokoládéminták nagy hidrosztatikai nyomású kezelése során a berendezésben és a mintában uralkodó nyomás- és hőmérsékleti viszonyok alakulását a **69. ábra** szemlélteti.



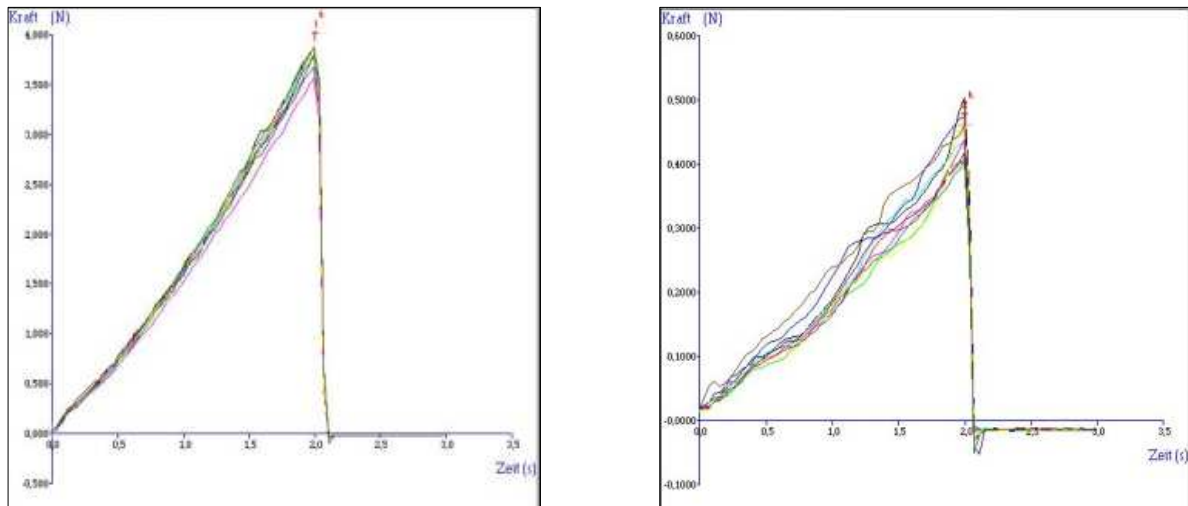
**69. ábra.** A hőmérséklet és a nyomás változása a nagy hidrosztatikai nyomású kezelés során

A 40°C-on temperált csokoládémassza hőmérséklete a nyomás emelése okozta adiabatikus munka miatt felszabaduló hő hatására kb. 60°C-ig emelkedett, majd lassan süllyedt, és a kezelés végére 14°C-t ért el. A hőmérséklet csökkenésének hatására a *csokoládé zsírfázisa kikristályosodott, a minta megszilárdult.*

A csokoládé optimális kristályszerkezetének – és ennek megfelelő optimális keménységének – eléréséhez háromlépcsős temperálásra van szükség. A nagynyomású kezelés során a hőmérséklet folyamatosan csökken, a megfelelő hőmérsékleti lépcsők kimaradnak. Az így keletkezett szilárd termék szerkezete az előkristályosítás nélkül megszilárdult csokoládéhoz kell hasonlítson. Ennek igazolására a nagynyomású kezelés hatására megszilárdult csokoládémintákat penetrometriás módszerrel keménységvizsgálatoknak vettem alá.

### 5.4.1 A nagy hidrosztatikai nyomású kezelés hatására kristályosodott csokoládé keménysége

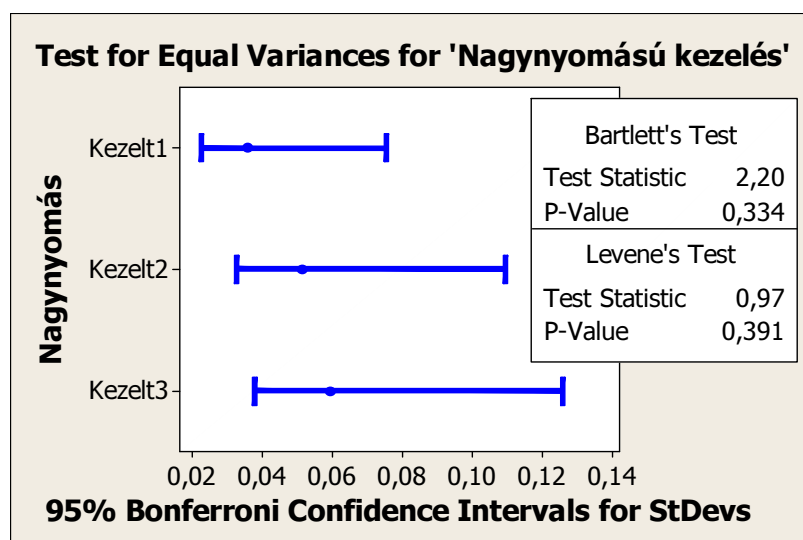
A következő ábrán (**70. ábra**) összehasonlítottam a nagynyomással kezelt minta (jobb oldali diagram) és egy standard, normáltemperált minta (bal oldali diagram) reogramját.



**70. ábra.** Standard (bal oldali diagram) és nagynyomással kezelt (jobb oldali diagram) csokoládéminták reogramjai (deformációs erők az idő függvényében)

A nagynyomással kezelt minta egyedi mérési eredményei sokkal nagyobb szóródást mutatnak, és a deformációs erő értékei jóval kisebbek, mint a standard minta esetében.

Három nagynyomással kezelt minta középértékét hasonlítottam össze *egytényezős varianciaanalízissel*. A modell validálásához elvégeztem a varianciák azonosságát vizsgáló Bartlett-féle eljárást (71. ábra), amely p valószínűségi változója (0,334) az azonosságot kijelentő nullhipotézis elfogadását jelezte.

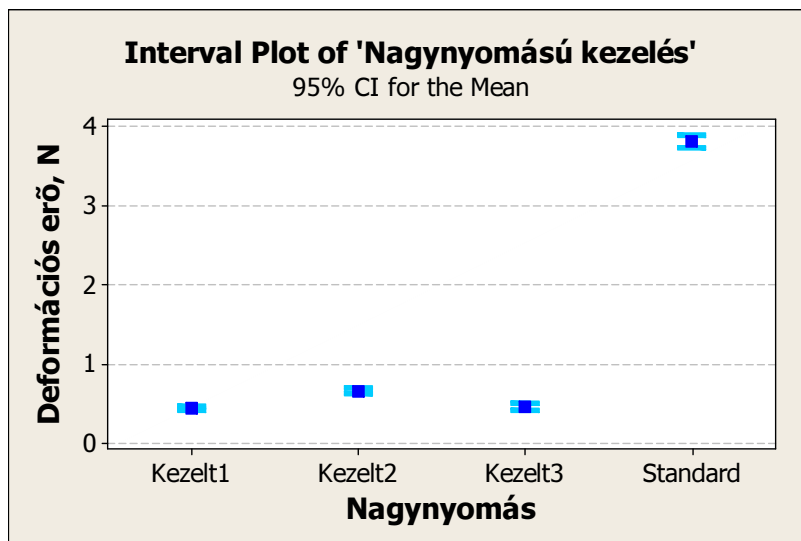


**71. ábra.** A nagynyomással kezelt minták deformációs erőinek varianciaazonossági tesztje

Az egytényezős varianciaanalízis eredményeül kapott F-próba óriási értéke (57,87) sokszorososa a kritikus  $F^*$ -értéknek (3,35), a p valószínűségi változó  $H_0$  hipotézis teljesülésének valószínűsége.

gét 0%-ban határozza meg. Ezek alapján elmondható, hogy a három nagynyomással kezelt minta középértéke között szignifikáns különbség van. A háromszor egymás után, azonos körülmények között elvégzett nagynyomási kezelés tehát nem hozott reprodukálható eredményt.

A 72. ábra a három kezelt minta és a standard minta konfidencia-intervallumainak elhelyezkedését mutatja. Jól látszik, hogy a standard minta konfidencia-intervalluma a három kezelt mintától eltér, azoknál összehasonlíthatatlanul nagyobb keménységértékeket fog közre.



**72. ábra** A három nagynyomással kezelt és a standard, normáltemperált mintákon mért deformációs erők konfidencia-intervallumainak elhelyezkedése

A csokoládémasszák nagynyomású kezelésével a *nem temperált csokoládéhoz hasonló állagú fénytelen, matt, puha, morzsalékosan törő* terméket állítottam elő. Amíg a mérési módszer nem mutat reprodukálható eredményt, addig a kísérletezést nem érdemes tovább folytatni.

## 5.5 Felületi zsírkiválás

*A* tárolási vizsgálatok keretében *havi gyakorisággal ellenőriztem* a különböző tárolási helyeken elhelyezett csokoládéminták felületét kiszürkülés vagy felületi zsírkiválás nyomait kutatva.

Tapasztalataim szerint *a felületi zsírkiválás megjelenése szabályozatlan tárolási körülmények esetén nem függ az összetételtől (CB -, CBE -, CBI - csokoládé), de függ a:*

- ❖ gyártási évszaktól,
- ❖ tárolás idejétől,
- ❖ tárolási hőmérséklettől.



A 2003. évben, nyár elején előállított és a déli oldalon tárolt minták már két hónap eltelte után *felületi elszíneződést* mutattak (**73. ábra**), amely folyamat egyre jobban felgyorsult, és egyes minták esetében előfordult, hogy a *harmadik hónap végére* szinte az *egész tábla felületét* beborította a zsírkiválás (**74. ábra**).



**73. ábra.** Júniusban előállított, déli oldalon tárolt CB - csokoládé 2 hónap tárolás után



**74. ábra.** Júniusban előállított, déli oldalon tárolt CBE I - csokoládé 3 hónap tárolás után

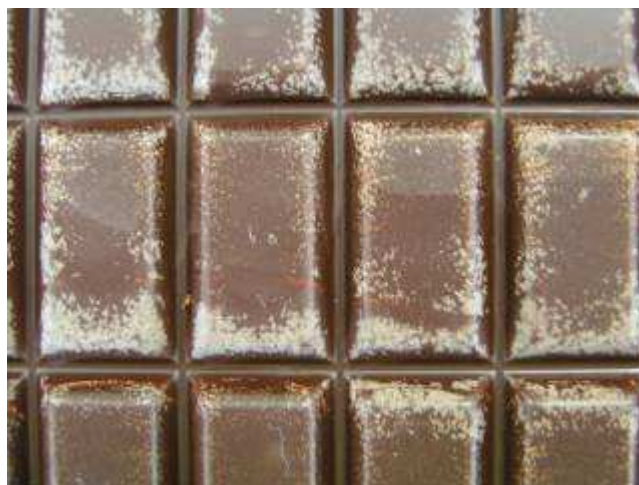
A fenti két ábra alapján a csak kakaóvaját tartalmazó CB - csokoládé és a CBE I - zsírt tartalmazó minta felületén hasonlóképpen megjelent a felületi zsírkiválás. Az idegen zsír 5%-nyi jelenléte extrém magas hőmérsékletű tárolási körülmények között nem tudta megakadályozni az elszíneződött felületi bevonat képződését.

A 2003. évben, nyár végén előállított és a déli oldalon tárolt minták 5 hónap tárolási idő elteltével sem színeződtek el. A **75. ábrán** összehasonlítva a június és augusztus hónapban gyártott, azonos összetételű mintákat látható, hogy a kiszürkülés megjelenésében döntő fontosságú a tárolási hőmérséklet.



**75. ábra. A júniusban és augusztusban előállított, déli oldalon tárolt CBE I - minta  
7 és 5 hónapos tárolást követően**

A zsírkiválás színe a sárgától (fenti képek) a fehéren keresztül a szürkéig változhat (**76. ábra**). Ez a felületen megjelenő zsírkristályok szerkezeti sajátosságaiból adódó fénytöréstől függ.



**76. ábra. Júniusban előállított, déli oldalon tárolt CBE III - minta 7 hónapos tárolás után**

A 2003. június, augusztus, október és december hónapokban előállított, az északi oldalon és a pincében tárolt mintákról egységesen elmondható, hogy a 13, 12, 9 és 8 hónapig tartó tárolási tesztek végéig egyetlen mintán sem jelent meg a felületi zsírkiválás.

A meleg évszakot követő, augusztus, október és december havi gyártások déli oldalon tárolt mintái a meleg nyári hónapok és a nagy napi hőingadozások megjelenéséig nem mutattak kiszürkülést.

A tárolási hőmérséklet felületi zsírkiválás megjelenésében betöltött döntő szerepéről a szakirodalmi eredmények megegyeznek az általam tapasztaltakkal, ZIEGLER és SCHWINGSHANDL (1999) tömör táblás étcsokoládé esetén a 18°C alatti hőmérsékletet jelöli meg optimális tárolási hőmérsékletként, kritikus határérték a 26°C.

## 5.6 Új tudományos eredmények

### ***1. Matematikai paraméterekkel (regressziós együttható és regressziós állandó) jellemeztem a szilárd csokoládé modellrendszerek hőállóképességét 25°C és 30°C közötti hőmérséklettartományban.***

A hőállóképesség meghatározásához különböző összetételű (csak kakaóvaját tartalmazó: CB-, és kakaóvaj-egyenértékű zsírokat tartalmazó: CBE- és CBI-) és eltérő ideig tárolt csokoládé modellrendszereken penetrometriás vizsgálatokat végeztem 2mm átmérőjű nemesacél hengerrel 4mm-es deformáció mellett. A kísérlet során felvettem a maximális deformációs erő változását a hőmérséklet függvényében, és a 25-30°C hőmérséklettartományban az adatpárookra regressziós egyenest illesztettem.

Matematikai statisztikai módszerekkel (korrelációanalízis, rezídum analízis, Durbin-Watson próba) 95%-os megbízhatósági szinten bizonyítottam, hogy mind az eltérő összetételű, mind az eltérő ideig tárolt szilárd csokoládé modellrendszerek esetében a *deformációs erő - hőmérséklet összefüggés a 25-30°C hőmérséklettartományban regressziós egyenessel jól közelíthető*. Megállapítottam továbbá, hogy ebben a hőmérséklettartományban a deformációs erő és hőmérséklet összefüggések meredeksége (regressziós együttható) -2,7738 és -1,8261 és a tengelymetszete (regressziós állandó)  $x=25^{\circ}\text{C}$ -on 11,52 és 16,94 között változott, amely paraméterek a hőállóképességet jellemzik.

2. ***Megállapítottam, hogy a nagy (akár 40°C-os) napi hőingadozásnak kitett szilárd csokoládé modellrendszerek maximális deformációs erővel meghatározott keménysége a 8 hónapig tartó, szabályozatlan körülmények között végzett tárolási folyamat során kétszeresére nő (spontán ciklotermikus kristályosodás).***

Statisztikailag alátámasztott vizsgálatokkal (egy- és kétféle varianciaanalízis, Dunnett-féle eljárás) 95%-os megbízhatósági szinten, penetrometriás módszerrel (nemesacéltű mérőfej és 2mm-es deformáció) igazoltam, hogy az extrém meleg helyen (déli oldal: átlaghőmérséklet a fűtetlen és fűtött időszakban: 22°C és 28°C, hőmérséklettartomány: 20-60°C) hosszú ideig tárolt csokoládé keménységében jelentős növekedés figyelhető meg, amelyet spontán ciklotermikus kristályosodásnak tulajdonítottam. A hosszú ideig (8,9 11 és 12 hónapig) tartó, főként a nyári időszakban történő, nagy hőingadozásnak (akár 40°C) és napfény közvetlen hatásának kitett tárolás során megfigyeltem, hogy a csokoládé napi ciklusokban megolvad, majd spontán, szabályozatlan módon ismét kikristályosodik.

3. ***Igazoltam, hogy a kakaóvaj-ekvivalens CBE - zsírok 5%-ban való alkalmazása a csokoládé modellrendszerek keménységét nagy hőmérsékletű helyen 8 hónapig tárolva szignifikánsan csökkentette, kis hőmérsékletű helyen nem változtatta meg. A CBI - zsírok 5%-ban történő alkalmazása a csokoládé modellrendszerek keménységét nagy hőmérsékletű helyen 8 hónapig tárolva szignifikánsan nem változtatta meg, kis hőmérsékletű helyen tárolva szignifikánsan csökkentette.***

A csokoládé keménységét penetrometriás módszerrel (nemesacéltű mérőfej és 2mm-es deformáció) határoztam meg. Statisztikai vizsgálatokkal (egytényezős varianciaanalízis, Dunnett-féle eljárás, 95%-os megbízhatósági szint) alátámasztott eredményeim szerint a CBE - zsírok 5%-ban történő alkalmazása a nagyobb hőmérsékletű helyen (déli oldal: átlaghőmérséklet a fűtetlen és fűtött időszakban: 22°C és 28°C, hőmérséklettartomány: 20-60°C) tárolt csokoládé keménységét szignifikánsan csökkentette. A kisebb hőmérsékletű helyeken (északi oldal: átlaghőmérséklet a fűtetlen és fűtött időszakban: 19°C és 21°C, hőmérséklettartomány: 18-26°C, pince: átlaghőmérséklet a fűtetlen és fűtött időszakban: 12°C és 17°C, hőmérséklettartomány: 12-19°C) tárolt minták keménységét nem változtatta meg szignifikánsan.

A CBI - zsír 5%-nyi alkalmazása a melegebb körülmények között (déli oldal: átlaghőmérséklet a fűtetlen és fűtött időszakban: 22°C és 28°C, hőmérséklettartomány: 20-60°C) tárolt csokoládé keménységét szignifikánsan nem változtatta. Az ennél hidegebb (északi oldal: átlaghőmérséklet a fűtetlen és fűtött időszakban: 19°C és 21°C, hőmérséklettartomány: 18-26°C) helyeken elhelyezett csokoládé keménységét szignifikánsan csökkentette.

- 4. Megállapítottam, hogy 9 hónapos tárolást követően az alultemperált csokoládé modellrendszerek keménysége szignifikánsan (6%-kal) kisebb, a túltemperált csokoládé modellrendszerek keménysége szignifikánsan (6%-kal) nagyobb lett a normáltemperált minták keménységénél.**

Penetrometriás módszerrel (nemesacéltű mérőfej és 2mm-es deformáció) mértem és statisztikai próbák (egy- és kéttényezős varianciaanalízis, Dunnett-féle eljárás, 95%-os megbízhatósági szint) elvégzésével igazoltam, hogy 9 hónap tárolás után az alultemperált minták puhábbá, a túltemperáltak keményebbé váltak a normáltemperált mintákhoz képest.

Megállapítottam továbbá, hogy a temperáltság keménységre gyakorolt szerepét befolyásolja, milyen összetételű a temperálandó csokoládémassza, és ez a jelenség különösen az alultemperált csokoládémintáknál jelentkezik. A CBE növényi zsírt 5%-ban tartalmazó alultemperált csokoládé szignifikánsan puhább, mint a kakaóvaj-ekvivalens növényi zsírt nem tartalmazó, standard alultemperált csokoládé. Ennek oka, hogy a két csokoládéminta zsírösszetétele nem egyezik – a CB - csokoládé zsírfázisa kakaóvajból áll, míg a CBE - csokoládé 5%-ban kakaóvaj-ekvivalens zsírt tartalmaz, ez valószínűsíti, hogy a két minta azonos paraméterek mellett különbözőképpen kristályosodik.

- 5. Az idegen növényi zsírt nem tartalmazó illetve kakaóvaj-ekvivalens zsírt 5%-ban tartalmazó csokoládé modellrendszerek kedveltségi mérőszámában és minőségyszámában nincsen szignifikáns különbség az előállítást követő 6 hét, 4 hónap és 6 hónap tárolási idők után.**

Képzett bírálókkal érzékszervi vizsgálatokat (kedveltségi teszt és DLG vizsgálati módszer) végeztem, ezek eredményeit 95%-os megbízhatósági szinten statisztikai módszerekkel (Friedman próba, páronkénti szignifikáns differencia) elemeztem. Megállapítottam, hogy az idegen növényi zsírt a jogszabályok szerint megengedett mértékben tartalmazó csokoládé modellrendszerek és az idegen növényi zsírt nem tartalmazó, standard csokoládé modellrendszerek érzékszervi jellemzői között nincsen statisztikai biztonsággal érzékelhető különbség, és ez a tény a tárolás során (északi oldal: átlaghőmérséklet a fűtetlen és fűtött időszakban: 19°C és 21°C, hőmérséklettartomány: 18-26°C) sem változik.



## 6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

### 6.1 Következtetések

#### *Reológiai vizsgálatok*

1. A rotációs reométer *párhuzamos lap geometriája alkalmazható* a csokoládémassza folyási jellemzőinek (időfüggő átlagos viszkozitás, folyásgörbe, tixotrópia, viszkozitás hőmérséklet-függése) meghatározására, a mérés *jól reprodukálható*.

A párhuzamos lapnak a gyakorlatban használt koaxiális cylinderrel szembeni *előnye a kis mintamennyiség-igény és az egyszerűbb, gyorsabb mintacsere*.

Nem volt e munka kifejezett célja a csokoládémassza-viszkozitás hőmérsékletfüggésének vizsgálata, azonban a csekély számú adatból jól látszik, hogy az Arrhenius-egyenletre emlékeztető *viszkozitás vs.  $1/T$  összefüggés* jó közelítéssel lineáris. Ez összefüggésben áll a szakirodalom vonatkozó eredményeivel.

2. Az időfüggő, roncsolásmentes oszcillációs vizsgálatok paraméterei, a konstans modulusok és a konstans komplex viszkozitás, alkalmasak lehetnek a csokoládémassza struktúrájának reológiai jellemzésére a terhelő feszültség kis deformációt előidéző tartományában.

A csokoládémassza a viszkózus tulajdonság mellett elasztikus tulajdonsággal is rendelkezik, a viszkózus *jellegre utaló veszteségi modulus ( $G''$ ) mintegy kétszerese az elasztikus tulajdonságra utaló tárolási modulusnak ( $G'$ ).*

3. Konfidencia-intervallumbecslés igazolta, hogy a *CBE - és a CBI - masszák viszkozitásgörbéi* 5%-os tévedési valószínűség mellett *szignifikánsan különböznek* a standard, kakaóvaj-ekvivalens növényi zsírt nem tartalmazó *CB - massa viszkozitásgörbéjétől*.

A CBE - massa nyírósebesség-függő viszkozitása kisebb, a CBI - massa viszkozitása pedig nagyobb a CB - massa viszkozitásánál.

4. A csokoládéminták keménységét jellemző maximális *deformációs erő hőmérsékletfüggő változását* a 25-30°C-os hőmérséklettartományban 95%-os megbízhatósági szinten *lineáris regressziós összefüggés* írja le.

A szilárd csokoládék *hőállóképességének jellemzésére alkalmas* a 25-30°C-os hőmérséklettartományban az adott paraméterek (összetétel, tárolás, kísérleti elrendezés stb.) mellett meghatározott hőmérséklet - deformációs erő méréspontjaira illesztett regressziós egyenes *regressziós együtthatója és állandója*.

5. Statisztikai módszerek igazolták, hogy *a CBE - és CBI - zsírok 5%-ban való alkalmazása a csokoládé keménységét – a tárolási körülményektől és időtől függően – szignifikánsan megváltoztatja.*
6. A temperáltsági fok, mint gyártástechnológiai paraméter szignifikáns hatással van a csokoládé keménységére, az alultemperált minták puhábbak, a túltemperáltak keményebbek a normáltemperált mintáknál. Továbbá *az összetétel és a temperáltság egymással kölcsönhatásban befolyásolja a keménységet.*

### ***Tárolási vizsgálatok***

7. A tárolási hőmérséklet ingadozása szignifikáns hatással van a csokoládé keménységére, *az extrém nagy napi hőingadozásnak kitett minták a ciklotermikus előkristályosítás folyamatához hasonlóan a tárolási idő függvényében jelentős keménység-növekedést mutatnak.*
8. A felületi zsírkiválás megjelenésében *döntő szerepe van a tárolási hőmérséklet ingadozásának*, az extrém meleg helyen tárolt minták zsírtartalma már 2 hónap tárolási időt követően megjelent a csokoládé felületén színváltozást okozva.  
A csak kakaóvaját és az 5%-ban kakaóvaj-egyenértékű zsírt tartalmazó csokoládék felületi kiszürkülésében *nem mutatkozott különbség.*

### ***Érzékszervi vizsgálatok***

9. A szakmai szabályozás szerint engedélyezett *növényi zsírok 5%-nyi jelenléte nem okoz szignifikáns változást a csokoládé kedveltségében és a pontozásos módon meghatározott minőségszámában, érzékszervi profiljában.*

### ***Nagynyomású kezeléssel vizsgálatok***

10. A csokoládémasszán elvégzett nagy *hidrosztatikai nyomással végzett kezelés nem reprodukálható*, az azonos módon kezelt és megszilárdult csokoládéminták keménysége szignifikánsan eltér.



## 6.2 Javaslatok

- A párhuzamos lap mérőrendszer gyakorlati alkalmazási lehetőségeinek megállapításához javaslom a mérések koaxiális mérőrendszerrel történő validálását.
- A csokoládémassza-viszkozitás hőmérsékletfüggésének vizsgálatát – állandó nyírósebesség mellett – kisléptékű hőmérséklet-emeléssel (1-2°C) célszerű elvégezni.
- Ha az oszcillációs reometria és a rotációs reometria mérési eredményei között statisztikailag igazolt, erős összefüggés állapítható meg, további vizsgálat tárgyát képezi annak lehetősége, hogy ez az összefüggés kiterjeszthető-e a nagy deformációk tartományára.
- Javaslom a csokoládé hőállóképességének szélesebb hőmérséklet-tartományban történő meghatározásához a deformációs erő - hőmérséklet függvény pontjait 25°C alatti hőmérsékleti értékeken meghatározni.
- A keménység időbeni változásának a tárolási hőmérséklet függvényében történő statisztikai elemzésekkel történő vizsgálatát nem végeztem, ez szabályozott körülmények között, állandó hőmérsékleten végrehajtott tárolási tesztekkel kivitelezhető.
- A különböző összetételű csokoládéminták érzékszervi jellemzőinek összehasonlításáról újabb információk különbségtesztek elvégzésével nyerhetők.
- A zsírkiválás mértékének a csokoládé felületéhez viszonyított százalékos arányát digitális képfeldolgozás segítségével javaslom számszerűsíteni.



## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

**A** élelmiszer-előállító vállalatokat egyre nagyobb kihívás elé állítja a gazdasági verseny, amely a gazdaságos gyártás mellett megköveteli a kiváló minőségű termékek előállítását. Nem kivétel ez alól az édesipar sem.

A jelenleg érvényben lévő szakmai jogi szabályozás alapján a késztermék lényegi összetevőit figyelembe véve – elsősorban gazdaságossági megfontolásból – 5%-nyi mennyiségben használható meghatározott kakaóvaj-egyenértékű növényi zsírok a csokoládégyártás során. Ezek alkalmazása hatással lehet a félkész- és késztermékek kémiai, fizikai jellemzőire befolyásolva az érzékszervi tulajdonságokat és a feldolgozhatóságot.

Kutatásaim elsődleges célja volt, hogy meghatározzam a kakaóvaj-ekvivalens növényi zsírok okozta összetétel-változás hatását a folyékony és a szilárd csokoládé reológiai és érzékszervi tulajdonágaira. Továbbá tárolási kísérletek elvégzésével vizsgáltam a tárolási hőmérséklet, az összetétel és a temperáltság keménységre gyakorolt hatását, a felületi zsírkiválás megjelenését. Végül új mérési módszerek és kezelési eljárások – rotációs reométer párhuzamos lap mérőrendszere, oszcillációs reometria és nagynyomású hidrosztatikai kezelés – alkalmazhatóságát teszteltem.

Főbb eredményeim szerint a kakaóvaj-ekvivalensek jogi szabályozás szerint megengedett mennyisége szignifikáns különbséget okoz a csokoládémassza reológiai tulajdonságaiban és a szilárd csokoládé keménységében. Az érzékszervi vizsgálatok szerint ellenben a kakaóvaj-ekvivalens növényi zsírok jelenléte nem befolyásolja a csokoládé kedveltségét és a pontozásos módszerrel meghatározott minőségszámát.

Az extrém magas tárolási hőmérséklet a ciklotermikus előkristályosítási folyamathoz hasonlóan jelentős mértékű keménység-növekedést okoz, és erőteljesen meggyorsítja a felületi zsírkiválás megjelenését. A csokoládé előállításának fontos technológiai folyamata, a temperálás szignifikáns hatással van a késztermék keménységére. Az alultemperált csokoládé jóval puhábbnak, míg a túltemperált csokoládé sokkal keményebbnek bizonyult a normáltemperált mintákhoz képest.

A csokoládémassza reológiai vizsgálatára alkalmas lehet a rotációs reométer párhuzamos lap geometriája, amely az ipari gyakorlatban alkalmazott koaxiális cilinderekhez hasonlítva sokkal kevesebb mintamennyiséget igényel, és gyorsabb mintacserét tesz lehetővé. Az oszcillációs vizsgálatok kis deformációk alkalmazásával roncsolásmentes módon határozzák meg a csokoládémassza viszkózus és elasztikus jellemzőit.



## 8. SUMMARY

Constant competition in the market puts more and more challenges towards food industrial companies, and requires product excellence bound with cost effective production. Confectionery industry is as well not an exception in this respect.

According to the actual professional legal regulations – primarily due to economical reasons – a ratio of 5% of cocoa butter alternative vegetable fats could be used for chocolate production considering the key components of the finished product. The application of these equivalents might have an effect on the chemical and physical parameters of the semi-finished and finished products, thus affecting the organoleptic properties and processability.

The primary target of my experiments was to determine the effect of the composition change caused by cocoa butter equivalent vegetable fats on the rheological and organoleptic properties of fluid and solid chocolates. In addition, I examined the effects of storage temperature, composition and temperation on hardness, and the presence of surface fat. Finally I tested the applicability of new measurement methods and treatment processes such as rotational rheometer parallel plate system, oscillation rheometry, and high pressure hydrostatic treatment.

According to my main results the application of the legally permitted amount of cocoa butter alternatives causes significant difference in rheological properties of the chocolate mass and the hardness of solid chocolate. The results of the sensory tests however showed, that the presence of such cocoa butter equivalent vegetable fats did not affect the preference and quality scores of chocolate.

Storage at extremely high temperatures similar to the cyclothermic pre-crystallization process causes considerable increase in hardness, and speeds up the appearance of surface fat. Tempering of chocolate, as an important technological process of manufacturing, has a significant effect on the hardness of the finished product. Under-tempered chocolate proved to be much softer, while over-tempered was much harder than the normally tempered samples.

Rotational rheometer parallel plate system geometry could be applicable for rheological parameter measurements of chocolate mass, and compared to the coaxial cylinders widely used in the industry today, it requires much less amount of sample, and provides quicker sample change. Oscillation measurements determine the viscous and elastic parameters of chocolate mass with low deformation and in a non-destructive way.

## IRODALOMJEGYZÉK

1. ÁDÁM GY. (Szerk.), Fehér O. (Szerk.) (1991): Élettan biológusoknak. 2. kötet. 3. kiadás. Budapest: Tankönyvkiadó, 1041 p.
2. A. E. NIELSEN MASKINFABRIK APS (1993): Schokoladentempermeter. Denmark, Farum, 5 p.
3. ANTAL M. (2003): Csokoládé – isteni eledel, vagy bűnös éték? *Édesipar*, XLIX (1) 2-4. p.
4. ATTAIE, H. et al. (2003): The functionality of milk powder and its relationship to chocolate mass processing, in particular the effect of milk powder manufacturing and composition on the physical properties of chocolate masses. *International Journal of Food Science and Technology*, 38 (2003) 325–335. p.
5. BARÁTH CS., ITTZÉS A., UGRÓSDY GY. (1996): Biometria. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 288 p.
6. BECKETT, S. T. (1990): Moderne Schokoladentechnologie. Hamburg: Behr's Verlag, 527 p.
7. BECKETT, S. T. (2000) The Casson Model Friend or Foe? [1-9. p.] In: Abstracts and Proceedings. Schoko-Technik 2000. Köln, Deutschland, 12.12-14.12.2000.
8. BINDRICH, U., TSCHEUSCHNER, H.-D., ROLLER, T. (1986): Automatisches Vibrationsrheometer für viskoelastische Lebensmittel. *Lebensmittelindustrie*, 33 (6) 247-250. p.
9. BÍRÓ GY. (2002): Szénhidrátok, édességek táplálkozásunkban: mi a helyes megítélés? *Édesipar*, XLVIII (3) 5-7. p.
10. BOLENZ, S., FELBRICH, A., KUTSCHKE, E. (2008): Fettärmere Schokolade mithilfe von Wasser? *Süßwaren Technik und Wirtschaft*, 53 (9) 10-13. p.
11. BOLLER, E., BRAUN, P. (2001): Die optimale Aromaentwicklung. *Süßwaren Technik und Wirtschaft*, 46 (5) 28-32. p.
12. BÖHME, B., LINKE, L. (2003a): Kaltformtechnik im Fokus. *Süßwaren Technik und Wirtschaft*, 48 (4) 21-23. p.
13. BÖHME, B., LINKE, L. (2003b): Kaltformtechnik für alkoholgefüllte Pralinen? *Süßwaren Technik und Wirtschaft*, 48 (9) 14-17. p.
14. BUCHHEIM, W., ABU EL-NOUR, A. M. (1992) Induction of milkfat crystallization in the emulsified state by high hydrostatic pressure. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 94 (10) 369-373. p.

15. BUEB, H. M. (1971): Die Fettreifbildung von Schokolade in Abhängigkeit von der verfahrens-technischen Durchführung der Vor- und Erstarrungskristallisation. Dissertation. München: Technische Universität München, 115 p.
16. DÁVID I. (1999): Marshmallow termékek vizsgálata. *Édesipar*, XIV (1) 30-36. p.
17. DROUVEN, H., FABRY, I., GÖPEL, G. (1996): Schokolade. [Stolberg-Vicht: Drouven & Fabry GmbH.] (Süßwarentechnologie, Band 1) 122 p.
18. EDMONDSON, M. (2000): Chocolate is good for you! [1-24. p.] In: Abstracts and Proceedings. Schoko-Technik 2000. Köln, Deutschland, 12.12-14.12.2000.
19. (1999): Frozen Cone<sup>®</sup> – Prinzip und Zukunft. *Süßwaren Technik und Wirtschaft*, 43 (3).  
[http://www.suesswarentechnik.de/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1187&Itemid=27](http://www.suesswarentechnik.de/index.php?option=com_content&task=view&id=1187&Itemid=27)
20. FEJÖS SZ. et al. (2005): A csokoládé és a kakaóvaj termoanalitikai vizsgálata. *Édesipar*, LI (1) 2-5. p.
21. FINCKE, A., HEINZ, W. (1956): Untersuchungen zur Rheologie der Schokolade. *Fette, Seifen, Anstrichmittel*, (58) 10 902-906. p.
22. FINKE, A. (1991): Rheologische Eigenschaften von Kakaobutterdispersionen mit Schokoladen-inhaltskomponenten. Dissertation. Dresden: Technische Universität Dresden, 126 p.
23. FLIEDNER, I., WILHELMI, F. (1989): Grundlagen und Prüfverfahren der Lebensmittel-sensorik. Hamburg: Behr's Verlag GmbH & Co., 244 p.
24. FRANKE, K., TSCHEUSCHNER, H.-D. (1995): Auswertung rheologischer Messungen. *Süßwaren*, (39) 5 44-47. p.
25. FREDE, E., BUCHHEIM, W. (1998): Schmelz- und Erstarrungsverhalten von Nahrungsfetten, insbesondere auch unter hohen Drücken [161-179. p.] In: Angewandte Wissenschaft, Heft 469. Workshop „Fette - Analytik, Protein-Lipid-Wechselwirkungen, technologische Eigenschaften und Eignung, Antioxidantien". Kulmbach, Deutschland, 02.06-03.06.1997.
26. GANONG, W. F. (1995): Az orvosi élettan alapjai. 3. kiadás. Budapest: Medicina, 804 p.
27. GASZTONYI K., BOGDÁN J. (1985): Élelmiszerek kolloidikája és reológiája. Egyetemi jegyzet. Budapest: Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem Házinyomdája.
28. GEHM, L. (1998): Rheologie: praxisorientierte Grundlagen und Glossar. Hannover: Vincentz Verlag, 131 p.
29. GUSTAVO, V. et al. (1998): Nonthermal preservation of foods. New York: Marcel Dekker, Inc., 269 p.

30. GY. M. (2009): Minőségi Mikulások várják az ünnepet. *Világgazdaság*. Budapest: Zöld Újság Rt. 2009/11/19.
31. HAAKE MESS - TECHNIK GmbH u. Co. (1993): Betriebsanleitung Viscotester® VT550 (HAAKE Viskosimeter). Karlsruhe, 74 p.
32. HAUSMANN, S. (2009): Zahnfreundliche Schokolade. *Süßwaren Technik und Wirtschaft*, 54 (5) 10-11. p.
33. HAUSMANN, A., TSCHEUSCHNER, H.-D., TRALLES, I. (1993): Einfluß der Abkühlbedingungen auf Qualitätsmerkmale der Schokolade (II). *Zucker und Süßwaren-Wirtschaft*, 46 (10) 492-498. p.
34. HAUSMANN, A., TSCHEUSCHNER, H.-D., TRALLES, I. (1994): Einfluß der Lagerbedingungen auf die Qualität der Schokolade (III). *Zucker und Süßwaren-Wirtschaft*, 47 (4) 118-123. p.
35. HARTYÁNI P., BÁNÁTI D., CSERHALMI ZS. (2007): Kíméletes új élelmiszeripari technológiák. *Élelmezési Ipar*, LXI (8) 225-232. p.
36. IRMISCH, R., LINKE, L. (1995): Strukturuntersuchungen zur Qualitätsbeschreibung mittels dynamisch-mechanischer Spektrometrie am Beispiel von fester Schokolade. *Neue Zeitschrift für Lebensmittel- & Verpackungs-Technik (LVT)*, 40 (2) 90-96. p.
37. JOLLY, M. S., BLACKBURN, S., BECKETT, S. T. (2003): Energy reduction during chocolate conching using a reciprocating multihole extruder. *Journal of Food Engineering*, 59 (2003) 137-142. p.
38. JOVANOVIĆ, O., PAJIN, B. (2004): Influence of lactic acid ester on chocolate quality. *Trends in Food Science & Technology*, 15 (2004) 128-136. p.
39. KERTI K. (2000): Kakaóvaj és kakaóvaj-alternatívák termoanalitikai vizsgálata. Doktori értekezés. Budapest: Szent István Egyetem, 190 p.
40. KERTI K. (2001): Édesipari célzsírok: a kakaóvaj és társai (besorolásuk, jellemzésük, felhasználási területeik). *Olaj, szappan, kozmetika*, 50 (2) 58-66. p.
41. KLEINERT, J. (1997): Handbuch der Kakaoverarbeitung und Schokoladenherstellung. Hamburg: Behr's Verlag GmbH & Co., 526 p.
42. KOMEN, G. (1989): Der Einsatz von Kakaobutter-Alternativen. Kosten senken, Funktionalität und Geschmack erhöhen. *Zucker- und Süßwaren*, 51 (12) 492-499. p.
43. KÓKAI Z., ERDÉLYI M. (2005): Az Érzékszervi Minősítés Korszerű Módszerei. Tanfolyami jegyzet, Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Érzékszervi Laboratórium, Budapest.
44. KUENECKE, K. (2000): Richtlinie 2000/36/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 25. Mai 2000 über Kakao- und Schokoladeerzeugnisse für die menschliche



- Ernährung. [1-11. p.] In: Abstracts and Proceedings. Schoko-Technik 2000. Köln, Deutschland, 12.12-14.12.2000.
45. LÁSZLÓ P. (1996): Élelmiszerfizika I. (Hidrodinamika, Reológia, Fénytan). Egyetemi jegyzet, Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem. Budapest: Interagent Kiadó és Nyomda Kft., 165 p.
  46. LÖSER, U., TSCHEUSCHNER, H.-D. (1981): Untersuchungen zum Temperierprozeß von Schokoladenmassen. *Lebensmittelindustrie*, 28 (8) 370-374. p.
  47. MACSIHIN, J. A., MACSIHIN, SZ. A. (1987): Élelmiszeripari termékek reológiája. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó, 247 p.
  48. MAGYAR ÉLELMISZERKÖNYV BIZOTTSÁG (2010): Az emberi fogyasztásra szánt kakaó- és csokoládétermékekről. 1-3-2000/36 számú előírás. (Magyar Élelmiszerkönyv) Budapest.
  49. MATISSEK, R. (2000): Pflanzenfette & Schokolade – Aktuelle Entwicklungen in Recht und Analytik. [1-16. p.] In: Abstracts and Proceedings. Schoko-Technik 2000. Köln, Deutschland, 12.12-14.12.2000.
  50. MATOS L., LENGYEL M. (2006): Édes gyógyszer a keserű csokoládé? *Édesipar*, LII (4) 9-11. p.
  51. MINIFIE, B. W. (1989): Chocolate, Cocoa, and Confectionery. Science and Technology. Third Edition. New York: Chapman & Hall, 904 p.
  52. MOHOS F. (1990): Édesipari technológia. Egyetemi jegyzet. Budapest: Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem Házinyomdája, 281 p.
  53. MOHOS F. (2003): Kakaó- és csokoládétermékek (Codex Alimentarius Hungaricus 1-3-2000/36 számú előírás. *Édesipar*, XLIX (2) 11-18. p.
  54. MOHOS F. (2004): A Magyar Élelmiszerkönyv édesipari termékek irányelveinek változásai. 1-3-2000/36 számú előírás: Kakaó- és csokoládétermékek. 2-84 számú irányelv: Édesipari termékek. *Édesipar*, L (2) 41-45. p.
  55. MOHOS F. Á. (2010): Confectionery and Chocolate Engineering: Principles and Applications. Wiley-Blackwell Publishers, UK, 712 p.
  56. MSZ-08-1854-84 Édesipari termékek vizsgálati módszerei. Casson viszkozitás meghatározása. (Visszavonva!)
  57. MSZ 20628:3-86 Édesipari termékek érzékszervi vizsgálata. Csokoládék, csokoládés és kakaóanyag-tartalmú termékek.
  58. MSZ EN ISO 9000:2005 Minőségirányítási rendszerek. Alapok és szótár.

- 
59. OICCC (Office International du Cacao, du Chocolat et de la Confiserie) (1973): Viscosity of Chocolate – determination of Casson yield value and Casson Plastic Viscosity. *Rev. Int. Choc. (RIC)*, 28 (9) 223-225. p. (Visszavonva!)
  60. PAHL, M., GLEIBL, W., LAUN, H.-M. (1995): Praktische Rheologie der Kunststoffe und Elastomere. 4. überarbeitete Auflage. Düsseldorf: VDI - Verlag GmbH, 448 p.
  61. PARÁNYI GY. (Szerk.) (2006): Minőségfejlesztés. Ötödik átdolgozott kiadás. Budapest: RAABE Tanácsadó és Kiadó Kft., 15/7.4 p.
  62. PEDERSEN, A. (2000): Migration and Bloom Prevention. [1-8. p.] In: Abstracts and Proceedings. Schoko-Technik 2000. Köln, Deutschland, 12.12-14.12.2000.
  63. RIEBLINGER, K. (1998): Anwendung von Aromasensoren in der Schokoladentechnologie. [1-11. p.] In: Abstracts and Proceedings. Internationale ZDS-Fachtagung SIC-18 SCHOKO-TECHNIK '98. Zentralfachschule der deutschen Süßwarenwirtschaft in Solingen, Deutschland, 08.12.1998.
  64. SANDMEIER, D. (2000): Polyphenole in Schokolade: Analytische und technologische Aspekte. [1-16. p.] In: Abstracts and Proceedings. Schoko-Technik 2000. Köln, Deutschland, 12.12-14.12.2000.
  65. SCHANTZ, B. et al. (2001a): Wirkung handelsüblicher Emulgatoren auf die rheologischen Eigenschaften flüssiger Schokoladenmassen, Teil I: Die theoretischen Grundlagen der Untersuchung. *Zucker- und Süßwarenwirtschaft*, 54 (4) 30-32. p.
  66. SCHANTZ, B. et al. (2001b): Wirkung handelsüblicher Emulgatoren auf die rheologischen Eigenschaften flüssiger Schokoladenmassen, Teil II: Die experimentelle Untersuchung. *Zucker- und Süßwarenwirtschaft*, 54 (5) 36-38. p.
  67. SCHANTZ, B., LINKE, L. (2001): Der Einfluss von Emulgatoren auf Schokoladen. Messmethoden für Erstarrung und Kontraktion. *Zucker- und Süßwarenwirtschaft* 54 (12) 15-17. p.
  68. SCHERER, R. (2003): Was ist Schokolade nach der neuen EU-Richtlinie 2000/36/EG? *Getreide, Mehl und Brot*, 57 (1) 50-56. p.
  69. SCHRAMM, G. (1995): Einführung in Rheologie und Rheometrie. Karlsruhe: Gebrüder HAAKE GmbH, 386 p.
  70. SIMONEAU, C., HANNAERT, P., ANKLAM, E. (1999): Detection and quantification of cocoa butter equivalents in chocolate model systems: analysis of triglyceride profiles by high resolution GC. *Food Chemistry*, 65 (1999) 111-116. p.
  71. STANLEY, J. (1941): Viscosity of Chocolate: Development of Standard Method. *Ing. Eng. Chem. Anal. Ed.*, 13 (6) 398-405. p.

72. STORGAARD, S. (2000): Neue pflanzliche Fette. *Süßwaren Technik und Wirtschaft*, 43 (7+8) 28-29. p., 31-34. p.
73. SUBRAMANIAM, P. J. (2000): Anti-Bloom Studies on Chocolate. [1-8. p.] In: Abstracts and Proceedings. Schoko-Technik 2000. Köln, Deutschland, 12.12-14.12.2000.
74. SZABÓ P. B. (2007): Bindler – FlexiStamp<sup>TM</sup> Rugalmas bélyegző / nyomó fej rendszer. *Édesipar*, LIII (1) 20. p.
75. SZABÓ P. B., GYIMES E. (2008): Istenek eledele – a kakaó. *Édesipar*, LIV (1-2) 5-8. p.
76. TSCHEUSCHNER, H.-D., MARKOV, E. (1986): Instrumental texture studies on chocolate. I. Methods of measurement and texture characteristics. *Journal of Texture Studies*, 17 (1986) 37-50. p.
77. TSCHEUSCHNER, H.-D. (1986): Die Textur der Lebensmittel und Möglichkeiten zu ihrer instrumentellen Charakterisierung. *Lebensmittelindustrie*, 33 (2) 53-55. p.
78. TSCHEUSCHNER, H.-D., MARKOV, E. (1987): Methoden zur instrumellen Texturanalyse von Schokolade. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden*, 36 (2) 197-201. p.
79. TSCHEUSCHNER, H.-D., MARKOV, E. (1988): Texturuntersuchung an Schokolade (Teil I: Meßmethoden, Teil II: Sensorisch - instrumenteller Vergleich, Teil III: Vorkristallisation im Labormaßstab zur Probenherstellung, Teil IV: Einfluß von Stoff- und Prozeßparametern auf die Textur von Schokolade). *Lebensmittelindustrie*, 35 (3,4,5,6) 129-131., 167-170., 228-231., 260-262. p.
80. TSCHEUSCHNER, H.-D. (1989): Physikalische Vorgänge beim Erstarren von Schokoladenmassen und Einflußfaktoren für eine gezielte Vorkristallisation. *Lebensmittelindustrie*, 36 (3) 126-131. p.
81. TSCHEUSCHNER, H.-D. (1991): Rheologie der Schokolade. In: Fortbildungskurs ‚Rheologie der Lebensmittel‘. Konstanz, 13.03-14.03.1991.
82. TSCHEUSCHNER, H.-D. (1991): Rheological properties of chocolate masses and cocoa butter dispersions and the texture of chocolate. *FoodTec*, 1991 (1) 2-9. p.
83. TSCHEUSCHNER, H.-D. (1991): Textur von Schokoladen. In: II. Europäischer Kakao- und Schokoladenkongreß. München, Mai 1991.
84. TSCHEUSCHNER, H.-D. (1992): Was eine gute Schokolade ausmacht. Messtechnische Möglichkeiten zur Qualitätssicherung der Schokoladenherstellung. *Süßwaren*, 36 (6) 16-20. p.
85. TSCHEUSCHNER, H.-D. (1996): Einfluß von Rezepturbestandteilen auf die Rheologie von Schokoladenmassen. In: Vortrag ZDS-Solingen. Solingen, Deutschland, 26.02.1996.

86. TSCHEUSCHNER, H.-D., LINKE, L. (1998): Aromaentwicklung beim Conchieren. *Süßwaren Technik und Wirtschaft*, 42 (4) 10-14. p.
87. TSCHEUSCHNER, H.-D. (1996): Grundzüge der Lebensmitteltechnik. 2. neubearbeitete Auflage. Hamburg: Behr's Verlag, 674 p.
88. WEBER, A., HAUPTMANN, S. (1989): DLG - Prüfschema für Süßwaren. Bewertung der sensorischen Qualitätsmerkmale von Schokoladen, Pralinen, Marzipan- und Nugaterzeugnissen nach einer 5-Punkte-Skala. *Süßwaren*, 33 (9) 362-367. p.
89. WEIPERT, D., TSCHEUSCHNER, H.-D., WINDHAB, E. (1993): Rheologie der Lebensmittel. Hamburg: Behr's Verlag, 620 p.
90. WOLLGAST, J., ANKLAM, E (2000a): Polyphenols in chocolate: is there a contribution to human health? *Food Research International*, 33, 449-459. p.
91. WOLLGAST, J., ANKLAM, E (2000b): Review on polyphenols in Theobroma cacao: changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. *Food Research International*, 33, 423-447. p.
92. YOUNG, C. C. (1984): The interpretation of GLC triglyceride data for the determination of cocoa butter equivalents in chocolate: A new approach. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 61 (3) 576-581 p.
93. ZIEGLEDER, G. (1995a): Kristallisation fetthaltiger Massen, dargestellt an Beispielen aus der Schokoladentechnologie. Habilitationsschrift. München, 199 p.
94. ZIEGLEDER, G. (1995b): Fettreif (Teil I-III). *Süßwaren Technik und Wirtschaft*, 39 (9-11) 28-32. p., 23-25. p., 26-28. p.
95. ZIEGLEDER, G. (1997): Aromaentwicklung beim Conchieren, Teil 1-2. *Süßwaren Technik und Wirtschaft*, 41 (11-12) 44-46. p., 20-22. p.
96. ZIEGLEDER, G., SCHWINGSHANDL, I. (1999): Fettreif – eine Frage der Lagertemperatur. *Süßwaren Technik und Wirtschaft*, 43 (4) 36-38. p.
97. ZIEGLEDER, G. (2000): Komplexe Ursachen für Migration und Fettreif. [1-14. p.] In: Abstracts and Proceedings. Schoko-Technik 2000. Köln, Deutschland, 12.12-14.12.2000.
98. ZIEGLEDER, G. et al. (2003): Neue Erkenntnisse über das Conchieren, Teil I-III. *Süßwaren Technik und Wirtschaft*, 48 (3-5) 14-16. p., 16-18. p., 14-16. p.
99. ZIEGLEDER, G., HORNIK, H. (2003): Fettreif im Visier. *Süßwaren Technik und Wirtschaft*, 48 (6) 22-24. p.
100. ZIEGLEDER, G. et al. (2005): Conchiergrad und Energieeintrag - Neue Erkenntnisse über das Conchieren, Teil IV. *Süßwaren Technik und Wirtschaft*, 50 (1+2) 10-12. p.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*E*

zúton szeretném megköszönni témavezetőmnek, *Dr. Fekete Andrásnak*, hogy a hosszú évek során az egyetemi, az ösztöndíjas németországi valamint doktori tanulmányaim és kutatómunkám idején végig mellettem állt, biztatott, segítséget nyújtott.

Köszönettel tartozom *Prof. Dr. Reinhold Scherernek*, a németországi Fachhochschule Fulda nyugalmazott professzorának, a kutatómunkám elvégzéséhez nyújtott szakmai útmutatásaiért és önzetlen segítségéért.

Köszönet illeti *Heike Vöglert* és *Ralf Schaefer*t, a németországi Fachhochschule Fulda tanszéki mérnökeket, akik a csokoládé-előállítási, a penetrometriás, az oszcillációs és az érzékszervi kísérletek elvégzéséhez járultak hozzá szaktudásukkal.

Köszönettel tartozom *Prof. Dr. Antonio Delgadonak* és *Dr. Albert Baarsnak*, a Wissenschaftszentrum Weihenstephan Freising der Technischen Universität München Fluidmechanika és Automatika Tanszéke tanszékvezetőjének és tanárának a reológiai és nagy hidrosztatikai nyomású kísérletekben nyújtott segítségért.

Végül köszönöm *családomnak* a támogatást, a belém vetett bizalmat és hitet.